

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Návrh pneumatických systémů otevírání střechy vagonu TAMNS
Design of Pneumatic Systems for Roof Opening of Wagon TAMNS

Student:	Bc. Lukáš Duda
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Duda**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika
Téma: **Návrh pneumatických systémů otevírání střechy vagonu TAMNS**
Design of Pneumatic Systems for Roof Opening of Wagon TAMNS
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte pneumatický systém ovládání střechy vagonu TAMNS. Systém ovládání zpracujte ve třech variantách:

- 1) s použitím pneumatických přímočarých motorů,
- 2) s použitím pneumatických kyvných motorů,
- 3) s použitím pneumatického rotačního motoru.

Doba otevření střechy vagonu je do 1 minuty při minimálním pracovním tlaku. Pro výpočet uvažujte pracovní tlak (0,4 – 0,8) MPa, okolní teplotu -25°C až 60°C, médium suchý nemazaný filtrovaný vzduch (<30 µm). Tlak ve vzduchovém potrubí na vagonu od lokomotivy je v rozsahu (1 – 1,6) MPa. Ovládání musí být možné z obou stran vagonu.

Vypracujte následující body:

1. Rešerši zaměřenou na systémy ovládání střechy vagonu.
2. Navrhněte pneumatické systémy pro všechny varianty zadání, specifikujte jednotlivé pneumatické prvky z výrobního programu Parker Hannifin.
3. Nakreslete pneumatická schémata pro všechny zadané verze ovládání.
4. Nakreslete základní uspořádání hlavních komponentů na vagonu.
5. Navrhněte propojení jednotlivých komponentů na vagonu, hadice, trubky, šroubení, uchycení, apod. Uvažujte i s možností napojení pneumatického systému na externí přívod vzduchu.

Seznam doporučené odborné literatury:

- DOSTÁL, J.; HELLER, P. *Kolejová vozidla I*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007. 119 s. ISBN 978-80-7043-520-5.
- KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
- BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
- KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
- MURRENHOFF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.
- Katalogy a firemní podklady Parker Hannifin.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:15.5.2017.....

.....*Yubas Duda*.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:15.5.2017.....

.....*Lukáš Duda*.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Lukáš Duda

Adresa trvalého pobytu autora práce: Rumunská 4053/5

Kroměříž 767 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DUDA, L. *Návrh pneumatických systémů otevírání střechy vagonu TAMNS: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2017, 80 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Diplomová práce se zabývá návrhem pneumatického pohonu otevírání a zavírání střechy nákladního vagonu TAMNS. Zadání vychází z praxe. Vagon je vybaven plechovou střechou skládající se ze dvou křídel. Cílem práce bylo navrhnout tři varianty pohonu s využitím lineárního, rotačního a kyvného pneumotoru. Pro variantu s lineárním a rotačním pohonem byl proveden návrhový výpočet pohonu a vytvořeno pneumatické schéma, dále byla vytvořena specifikace hlavních pneumatických prvků i spojovacích prvků včetně jejich uspořádání na vagoně. Variantu s kyvným pneumatorem nebylo možné vytvořit z důvodu nedostatečného vyvoditelného momentu pneumatorem.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

DUDA, L. *Design of Pneumatic Systems for Roof Opening of Wagon TAMNS: Master Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2017, 80 p. Thesis head: Dvořák, L.

This master thesis deals with the design of the pneumatic drive for opening and closing the roof of the TAMNS freight wagon. The assignment is based on practice. The wagon is equipped with a metal roof consisting of two wings. The aim of the thesis was to design three variants of the drive using linear, rotary and swinging pneumatic motor. The design calculation of the drive was made for the variant with linear and rotary drive and a pneumatic schema was created. Moreover, the specifications of the main pneumatic elements as well as the connecting elements, including their arrangement on the wagon, were created. The swinging pneumatic motor variant could not be created due to the insufficient torque by a pneumatic motor.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	9
Úvod.....	10
1 Přehled současného stavu řešené problematiky	11
1.1 Vagony Tamns	11
a) Vagon se střechou plachtovou	11
b) Vagon se střechou plechovou	12
1.2 Pneumatické systémy používané na vagonech	13
a) Pomocný systém vagonu.....	13
b) Brzdový systém.....	13
1.3 Druhy pneumatických motorů.....	14
a) Pneumotory s přímočarým pohybem	15
b) Pneumotory s kyvným pohybem	17
c) Pneumotory s rotačním pohybem	19
Zhodnocení	22
1.4 Způsoby řízení směru pohybu pneumatického motoru	23
a) Mechanické přímé ovládání rozváděče.....	23
b) Pneumatické nepřímé ovládání rozváděče	24
c) Elektrické přímé ovládání rozváděče	25
d) Elektro-pneumatické nepřímé ovládání rozváděče	25
Zhodnocení	26
1.5 Značení pneumatických prvků	27
2 Návrh pohonů	30
2.1 Zatížení.....	31
2.2 Návrh přímočarého pohonu.....	32
a) Volba lineárního pneumotoru	32
b) Kontrola pneumotoru se zahrnutím síly od pružin a čepového tření	33
c) Kontrola pístnice na vzpěr	39

d)	Výpočet spotřeby vzduchu	40
e)	Návrh světlostí potrubí.....	41
g)	Návrh pneumatického obvodu	42
h)	Specifikace pneumatických prvků včetně propojení	43
i)	Kontrola propustnosti prvků	47
j)	Základní uspořádání hlavních komponentů na vagonu	49
k)	Návrh propojení a upevnění jednotlivých komponentů na vagonu	51
2.3	Návrh kyvného pohonu	54
2.4	Návrh rotačního pohonu.....	55
a)	Výpočet potřebného vyvozeného momentu pneumatorem	55
b)	Volba rotačního pneumotru	61
c)	Výpočet spotřeby vzduchu.....	62
d)	Návrh světlosti potrubí.....	64
e)	Návrh pneumatického obvodu	65
f)	Specifikace pneumatických prvků včetně propojení	66
g)	Kontrola propustnosti prvků	69
h)	Základní uspořádání hlavních komponentů na vagonu	70
i)	Návrh propojení a upevnění jednotlivých komponentů na vagonu	72
2.5	Porovnání variant pohonů	75
2.6	Alternativní pohony	76
3	Závěr práce	77
4	Seznam použité literatury	78
5	Seznam příloh	79

Seznam použitých značek a symbolů

<u>Značka:</u>	<u>Název:</u>	<u>Rozměr:</u>
D	velký průměr	[m]
E	modul pružnosti v tahu	[Pa]
F	síla	[N]
H	zdvih pístu lineárního pneumotoru	[m]
J	moment setrvačnosti	[m ⁴]
L _{RED}	redukováná délka	[m]
M	moment	[N.m]
Q	průtok	[m ³ .s ⁻¹]
Q _N	průtok přepočtený na normální podmínky	[m _N ³ .s ⁻¹]
R	reakce	[N]
R _o	odpor těsnění	[N]
S	plocha	[m ²]
T	termodynamická teplota	[K]
a, b, c, x, y, z	rozměry v pákovém mechanismu	[m]
a	koeficient odporu těsnění	[1]
d	malý průměr	[m]
f	koeficient pření	[1]
g	tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
i	převodový poměr	[1]
k	tuhost pružiny	[N.m ⁻¹]
k _B	koeficient bezpečnosti	[1]
Δl	změna délky	[m]
m	hmotnost	[kg]
n	otáčky	[s ⁻¹]
p	tlak	[Pa]
r	rameno působíště síly	[m]
r _č	poloměr čepu	[m]
t	teplota	[°C]
t _z	čas zdvihu	[s]
v	rychlost	[m.s ⁻¹]
z	počet pneumotorů	[1]
α,β,δ	úhly v pákovém mechanismu	[°]
π	Ludolfovo číslo (π=3,14159)	[1]
ρ	hustota	[kg.m ⁻³]

Úvod

Téma diplomové práce vzešlo z praxe od firmy Parker Hannifin Czech Republic s. r. o. Tato firma se zabývá výrobou pneumatických a hydraulických komponent a také projektováním obvodů.

Diplomová práce je zaměřena na návrh pneumatického pohonu otevírání a zavírání střechy železničního vagonu TAMNS. Na vagonu je použito pneumatického pohonu pro ovládání brzd a nadstavbové funkce jako je v mém případě manipulace se střechou. Zdrojem stlačeného vzduchu je kompresor umístěný v lokomotivě. Vzduch je v lokomotivě filtrován a vysoušen tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vody v potrubí a následnému zamrzání v zimních měsících.

Primární funkce pneumatického systému je ovládání brzd. Brzdy mají svůj speciální rozvod. Pro odbrzdění je nutné natlačit systém a pro zabrzdění je nutné naopak systém odvětrat. Takový systém se nazývá samočinná tlaková brzda a plní bezpečnostní funkci v případě porušení systému. Při úniku vzduchu, například při odtržení hadice, dojde k odtlačování obvodu a vůz se automaticky zabrzdí. Sekundární obvod plní doplňkové funkce a má také svůj samostatný rozvod.

Cílem práce je návrh tří variant pneumatických pohonů otevírání střechy s využitím lineárního, kyvného a rotačního pneumotoru. Provedl jsem literární rešerši řešené problematiky se zaměřením na možné varianty střechy vagonu TAMNS, pneumatické systémy používané na vagonech, pneumotory a možné způsoby řízení pneumotorů. Získané informace jsem použil ke zpracování kapitoly *1 Přehled současného stavu řešené problematiky*. V kapitole *2 Návrh pohonů* je proveden návrh dvou variant, pro které jsem zpracoval specifikaci jednotlivých pneumatických prvků, navrhl základní uspořádání hlavních komponentů na vagonu a také jejich propojení a vytvořil pneumatická schémata. Na závěr této kapitoly jsem provedl porovnání jednotlivých variant a ke každé variantě jsem provedl návrh alternativního pohonu. Variantu s kyvným pneumotorem nebylo možné dořešit z důvodu nedostatečného vyvoditelného momentu pneumotorem.

Kapitola *3 Závěr práce* obsahuje zhodnocení práce.

1 Přehled současného stavu řešené problematiky

1.1 Vagony Tamns

Zastřešené vagony Tamns jsou určeny pro přepravu materiálů, které vyžadují ochranu před povětrnostními vlivy.

Technické údaje otevřeného vagonu z podkladů zadavatele:

- délka přes nárazníky 15,74 m,
- výška od koleje bez střechy: 3,325m,
- šířka: 3,06 m,
- rozchod: 1,435 m,
- vzdálenost podvozku: 10,7 m,
- počet náprav: 4,
- ložná délka: 14,495 m,
- ložná šířka: 2,68 m,
- ložná výška: 2,09 m,
- ložná plocha: 38,8 m²,
- ložný objem: 81,1 m³,
- hmotnost vagonu: 24 500 kg,
- maximální nosnost: 65 500 kg,
- maximální hmotnost naloženého vagonu: 90 000 kg,
- maximální rychlost při naložení: 100 km·h⁻¹,
- maximální nosnost při vyložení: 120 km·h⁻¹.

a) Vagon se střechou plachtovou

Plachtová střecha zaručuje ochranu přepravovaného materiálu proti povětrnostním vlivům. Plachta je vyrobena z tkaniny potažené PVC. Plachtová střecha na obrázku 1.1.1 je opatřena vzpěrami, které jsou umístěny ve vedeních v bočnicích. Vzpěry jsou přichyceny k řetězu a ten je spojen s pohonným mechanismem. Pohonný mechanismus je mechanický / případně pneumatický. Pro vagon s plachtovou střechou se změní výška od kolejí minimálně. Pro manipulaci se střechou není potřeba téměř žádný manipulační prostor kolem vagonu. Plachta se svine do připraveného prostoru 2 na jedné straně vagonu.



Obr. 1.1.1 Příklad vagonu s plachtovou střechou [6]

1- pohonný mechanismus, 2- prostor pro svinutí plachty

b) Vagon se střechou plechovou

Plechová střecha zaručuje dokonalou ochranu přepravovaného materiálu proti povětrnostním vlivům. Plechová střecha se skládá ze dvou křídel *1*, které se rozevírají do stran. Hmotnost jednoho křídla je cca 1 000 kg. Výška uzavřeného vagonu je 3,94 m. Pro otevření vagonu je potřebná šířka prostoru alespoň 4,02 m. Otvírání a zavírání střechy je zabezpečeno mechanickým či pneumatickým pohonem *2*. Střecha je uložena na čelních stranách v čepech. Synchronizace otevírání a zavírání je zaručena pákovým mechanismem *3*.



Obr. 1.1.2 Příklad vagonu s plechovou střechou [7]

1- křídla střechy, 2- pohonný mechanismus, 3- pákový mechanismus

1.2 Pneumatické systémy používané na vagonech

Energie stlačeného vzduchu je na vagoně používána zejména pro ovládání brzd a dále pro pomocné funkce.

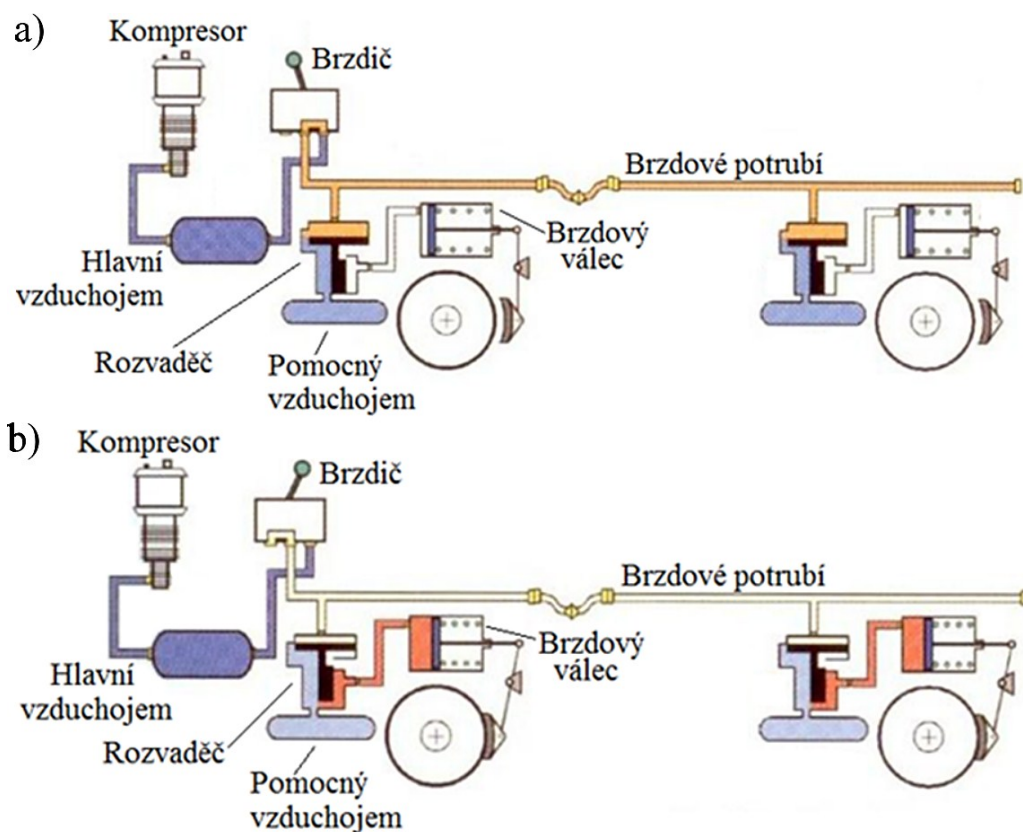
a) Pomocný systém vagonu

Úkolem pomocného systému je zabezpečení všech pomocných funkcí, jako je například otevírání a zavírání dveří, klapek nebo střechy. Tento systém má vedení označené žlutou barvou.

b) Brzdový systém

Úkolem brzd je vytvoření síly působící proti pohybu vagonu. Na nákladních vagonech je nejčastěji používaná samočinná tlaková brzda, jak je popsáno v [8]. Důvodem zavedení tohoto typu brzd bylo umožnění přímého ovládání brzd strojvedoucím a také umožnění rovnoměrného účinku brždění. Brzda dále plní funkci nouzového brždění v okamžiku zatažení záchranné brzdy nebo v případě mechanického porušení brzdového pneumatického vedení. Brzdový systém využívá energie stlačeného vzduchu pro přenos energie na mechanickou část brzdy a také pro signál zahájení brždění.

Popis funkce brzdy na obrázku 1.2.1. Tlakový vzduch je přiváděn do potrubního systému *kompresorem* umístěným v lokomotivě, kde je vzduch i upravován. Při plném natlakování *brzdového potrubí* včetně *pomocných vzdušníků* na tlak 5 bar dojde k odbrzdění. Po zatažení páky *brzdiče* dojde k částečnému odtlakování brzdového potrubí a *rozváděč* se přestaví podle tlakového rozdílu v *brzdovém vedení* a v *pomocném vzdušníku*. *Rozváděč* přivede tlakový vzduch do *brzdového válce* a dojde k zahájení brždění. Při snížení tlaku o 1,5 bar dojde k úplnému zabrzdění. Dalším snižováním tlaku není docíleno vyššího brzdného účinku, pouze v případě náhlého úplného odvětrání je uvedena brzda do režimu rychločinného brždění. Brzdový systém má vedení označené červenou barvou.



Obr 1.2.1 Brzdový systém [8]

a) odbřzděný systém, b) zabřzděný systém

1.3 Druhy pneumatických motorů

Cílem práce je návrh jednoho z pomocných systémů a to otevírání a zavírání střechy. Proto budou v následující části popsány jednotlivé pohony a vybrány nejvhodnější pro zadané varianty pohonů. Podrobně je tato problematika popsána např. v [1, 4, 5].

Pneumotory se vyrábějí různých konstrukcí a různých způsobů transformace tlakové (potenciální), kinetické energie stlačeného vzduchu na mechanický pohyb.

Rozdělení:

a) pneumotory s přímočarým pohybem:

- pístové- jednočinné,
- dvojčinné,
- membránové- jednočinné,
- dvojčinné,
- měchové,
- bezpístnicové,

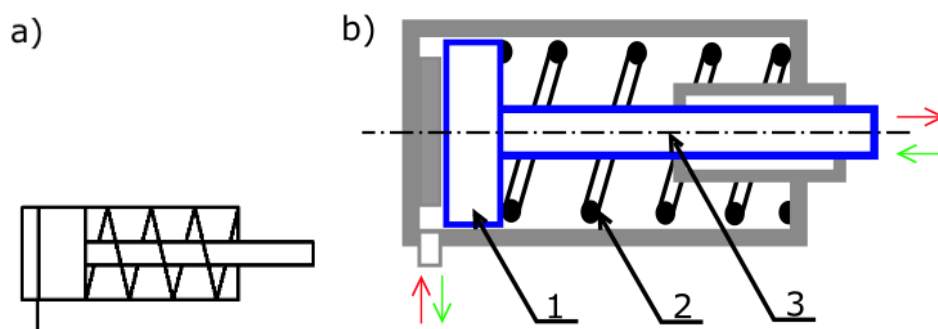
- b) pneumatory s kyvným pohybem:
- lamelové- s jednou lamelou,
- s dvojitou lamelou,
 - pístové- s vnějším záběrem ozubené tyče,
- s vnitřním záběrem ozubené tyče,
- c) pneumatory s rotačním pohybem:
- pístové- radiální,
- axiální,
 - zubové,
 - lamelové.

a) Pneumatory s přímočarým pohybem

Jsou hojně používané díky své jednoduché konstrukci a transformaci tlakové energie vzduchu na posuvný pohyb.

- Pístové- se skládají z válce, dvou vík, pístu, těsnění a případně pružiny u jednočinných motorů. Pneumatory je možné realizovat jako jednočinné nebo dvojčinné.

- Jednočinné- tlakový vzduch je přiveden pouze na jednu stranu pístu *1* a vratný pohyb je zabezpečován nejčastěji pružinou *2* nebo samotnou vahou břemene. Pneumotor je schopen konat práci pouze v jednu jedním směru pohybu.



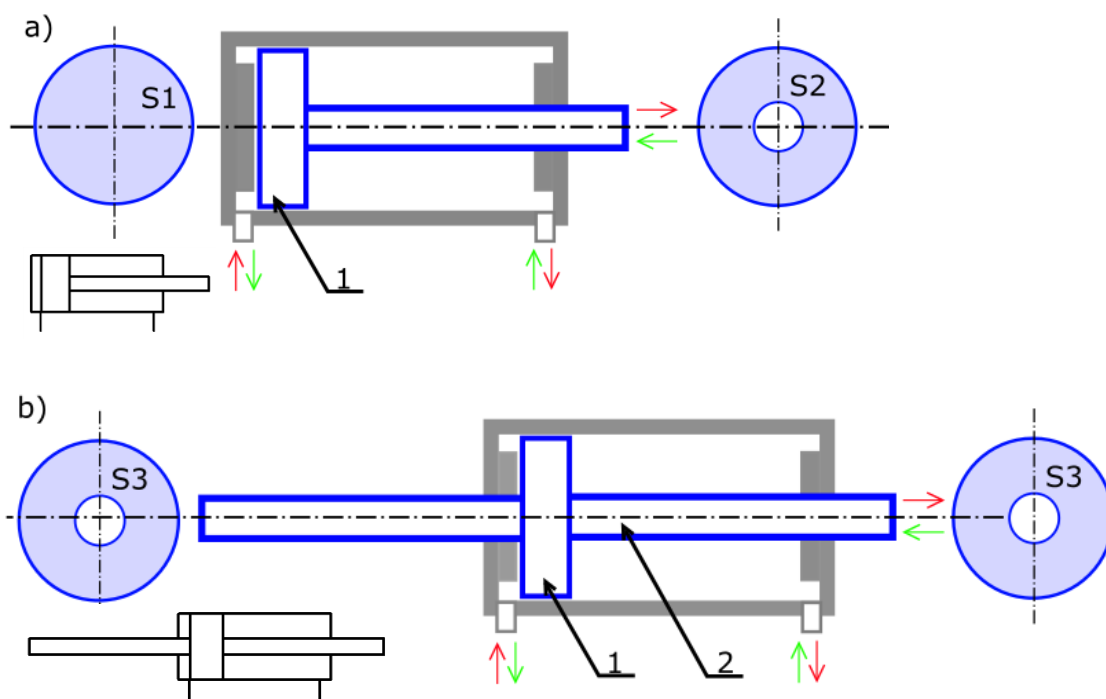
Obr. 1.3.1 Jednočinný lineární pneumotor

a) schématická značka, b) zjednodušený řez pneumatorem

1- píst, 2- pružina, 3- pístnice

- Dvojčinné- tlakový vzduch je přiváděn střídavě na obě strany pístu a tím je zabezpečeno vysouvání a zasouvání. Pneumotor koná práci v obou směrech

pohybu. U klasického provedení vlivem rozdílných ploch pístu $S1$, $S2$ není stejná síla, a rychlost při vysouvání a zasouvání. Odstranění rozdílné rychlosti je možné provést použitím jednosměrného škrtkového ventilu. Rozdílnou rychlost a sílu je možné eliminovat v řadě aplikací použitím dvojčinného pneumotoru s průběžnou pístnicí 2. Pneumotor pak má stejné plochy pístu $S3$.

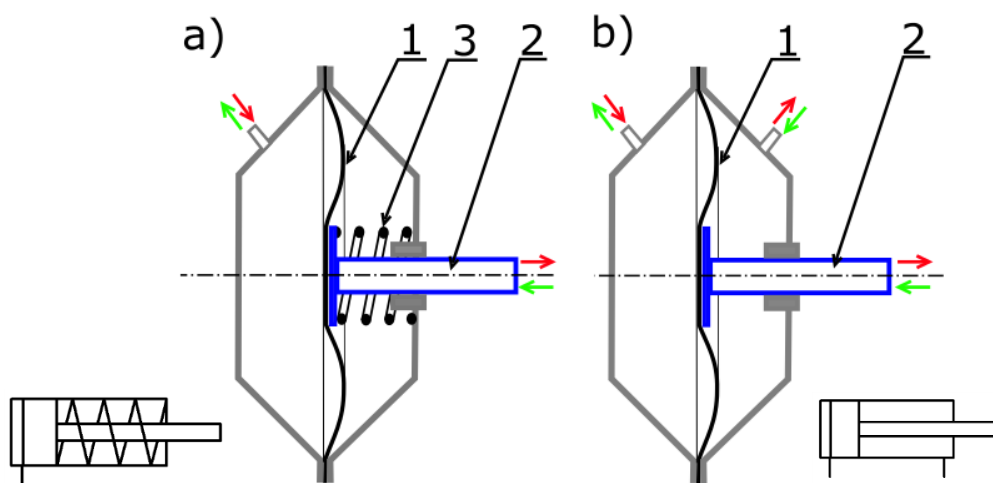


Obr. 1.3.2 Dvojčinný lineární pneumotor

a) s jednostrannou pístnicí, b) s oboustrannou pístnicí

1- píst, 2- pístnice, $S1$ - plocha pístu, $S2, S3$ - plocha mezikruží

- Membránové- provedení jednočinné nebo dvojčinné. Stlačený vzduch je přiváděn do prostoru k membráně 1 na obrázku 1.3.3, kterou začne deformovat. K membráně je připojena pístnice 2. Vlivem deformace membrány se začne pohybovat pístnice. Tyto pneumotory se používají pro velice malé zdvihy, řádově několik desítek mm. Kvůli různé deformaci membrán se mění i přenášená síla.
 - Jednočinné- vzduch je přiváděn pouze na jednu stranu membrány, zpětný pohyb je zabezpečen vratnou pružinou 3.
 - Dvojčinné- vzduch je přiváděn střídavě na obě strany membrány a tím je zabezpečeno vysouvání a zasouvání.

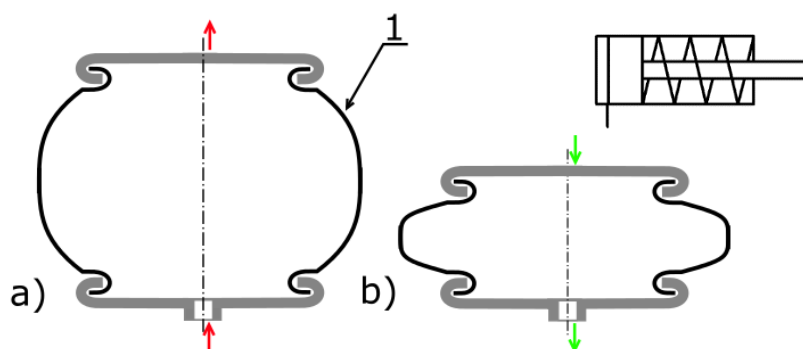


Obr. 1.3.3 Membránový pneumotor

a) jednočinný, b) dvojčinný

1- membrána, 2- pístnice, 3- pružina

- Měchové- jsou obdobou membránových, ale vyrábějí se pouze jako jednočinné a jsou určeny pro přenášení velkých zatížení. Pohybu se docílí naplňováním měchu 1 stlačeným vzduchem. Vratný pohyb je realizován zátěží. Větších zdvihů je možno docílit skládáním jednotlivých měchů na sebe.



Obr. 1.3.4 Měchový pneumotor

a) jednočinný, b) dvojčinný

1- měch

- Bezpístnicové- se vyrábějí různých konstrukcí. Pro tuto aplikaci se nehodí, protože nejsou schopny přenášet větší síly, proto nebudou dále popsány.

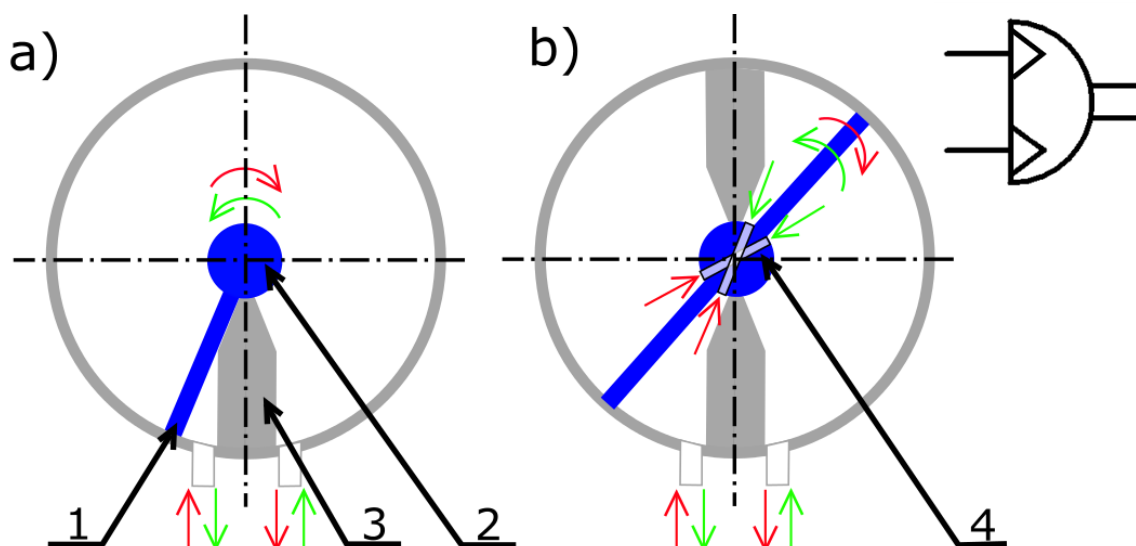
b) Pneumotory s kyvným pohybem

V řadě aplikací je požadován kyvný pohyb s velkým krouticím momentem. Pneumotory lamelové se vyznačují kyvem maximálně 300°. Pístové je možné použít i pro větší kyv.

- Lamelové- tlakový vzduch je přiváděn do pneumotoru kde začne působit na lamelu 1, která se začne pohybovat. Lamela je uchycena ke hřídeli 2 a ta se začne otáčet, dokud se lamela neopře o přepážku 3. Vratný pohyb je zrealizován přivedením tlaku na druhý vstup. Lamelové pneumotory je možné rozdělit podle počtu lamel.

-S jednou lamelou- provedení pouze jako dvojčinné a jednou lamelou. Pohyb je možné realizovat v kyvu rovnajícimu se téměř jedné otáčky.

-S dvojitou lamelou- provedení pouze jako dvojčinné a dvěma lamelami. Pohyb je možné realizovat v kyvu téměř půl otáčky ale při dvojnásobném momentu oproti variantě pneumotoru s jednou lamelou. Rozvod vzduchu mezi lamelami je možné realizovat například kanály ve hřídeli 4.

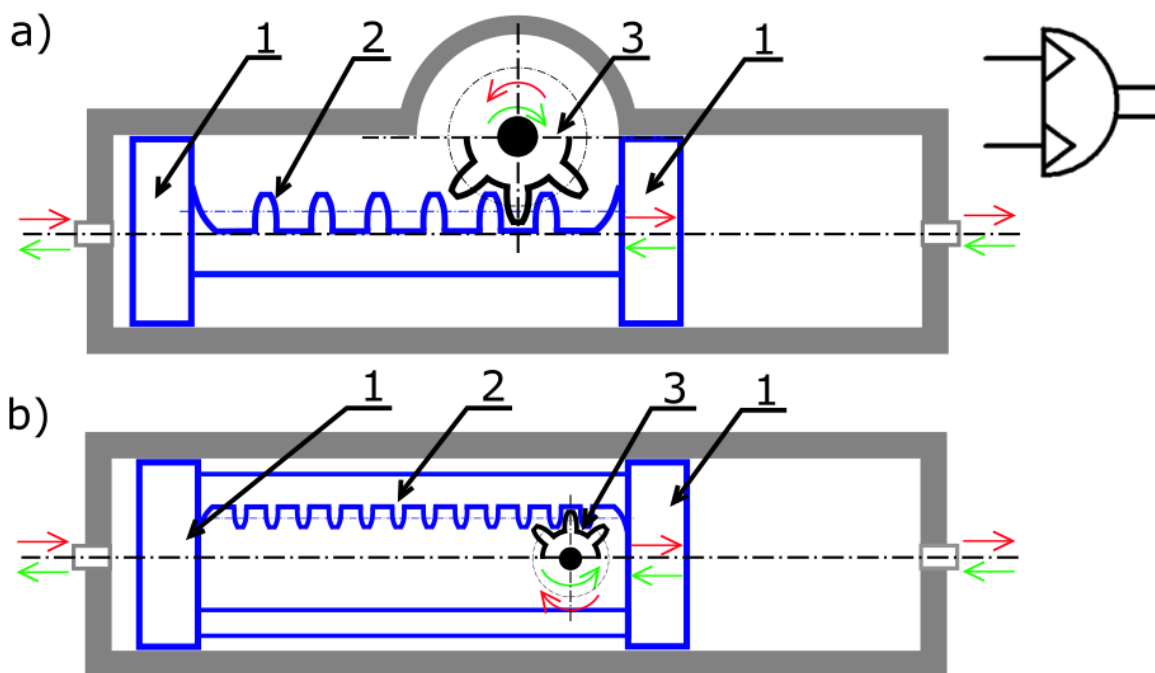


Obr. 1.3.5 Lamelový kyvný pneumotor

a) s jednou lamelou, b) s dvojitou lamelou

1- lamela, 2- hřídel, 3- přepážka, 4- kanály

- Pístové- vyrábějí se jako jednočinné i dvojčinné. Pneumotor na obrázku 1.3.6 je vybaven dvojicí pístů 1, které se vlivem přivedeného stlačeného vzduchu začnou přesouvat. Na pístnici je vytvořen ozubený hřeben 2. Po posouvajícím se ozubeném hřebeni 2 se začne odvalovat ozubené kolo 3. Pak transformace probíhá jako převod a) s vnějším záběrem ozubené tyče nebo b) s vnitřním záběrem ozubené tyče. Tyto motory mohou vyvodit kyv větší než je jedna otáčka a zároveň jsou schopny přenášet větší krouticí moment v porovnání s lamelovými pneumotory.



Obr. 1.3.6 Pístový kyvný pneumotor

a) s vnějším záběrem ozubené tyče, b) s vnitřním záběrem ozubené

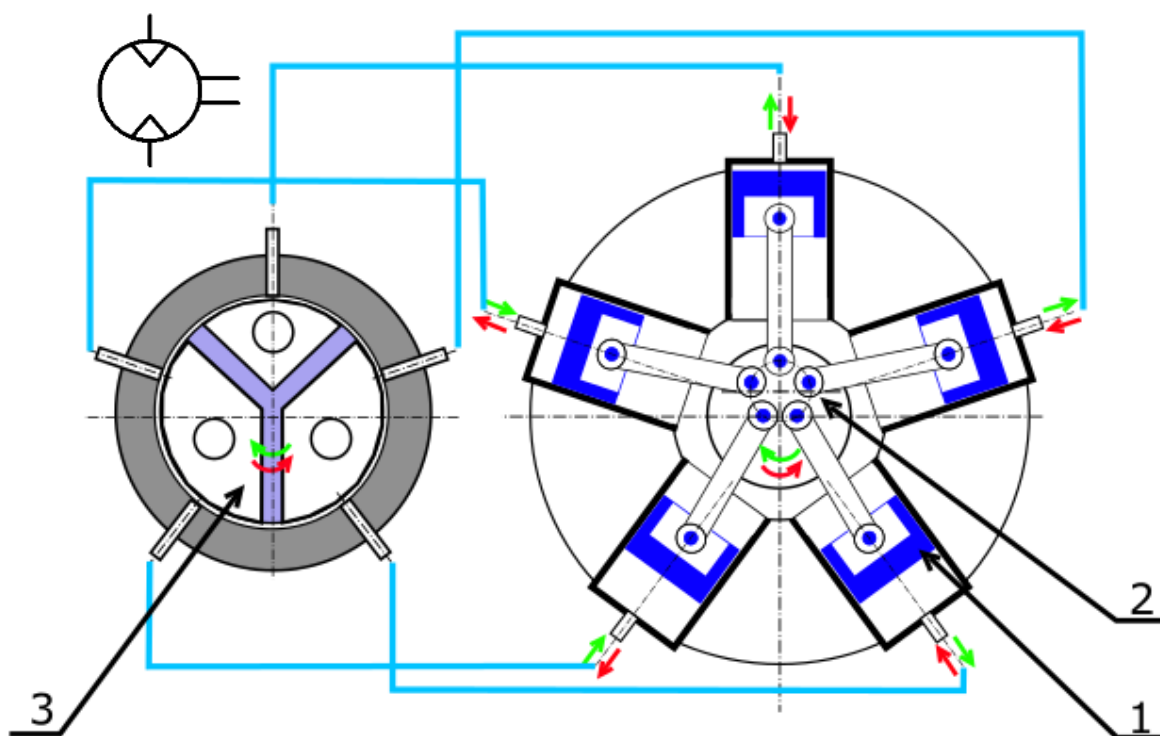
1- píst, 2- ozubený hřeben, 3- ozubené kolo

c) Pneumotory s rotačním pohybem

Jsou v určitých aplikacích alternativou k elektromotorům případně hydromotorům. Tlakovou energii stlačeného vzduchu transformují na pohyb lineární a ten je potom transformován na pohyb rotační. Tak to probíhá u pístových pneumotorů. Přímá transformace energie stlačeného vzduchu na rotační pohyb se děje u pneumotorů zubových a lamelových.

- Pístové- písty 1 konají přímočarý vratný pohyb a ten je následně transformován na rotační. Pístů musí být více kvůli rovnoměrnému pohybu, a proto se zvětšují zástavbové rozměry, ale díky tomu se zvětšuje dosažitelný moment pneumotoru. Pístové pneumotory jsou konstrukčně velmi složité. Písty mohou být umístěny kolmo nebo rovnoběžně s osou rotace hřídele pneumotoru. Pak rozlišujeme pneumotory radiální a axiální.

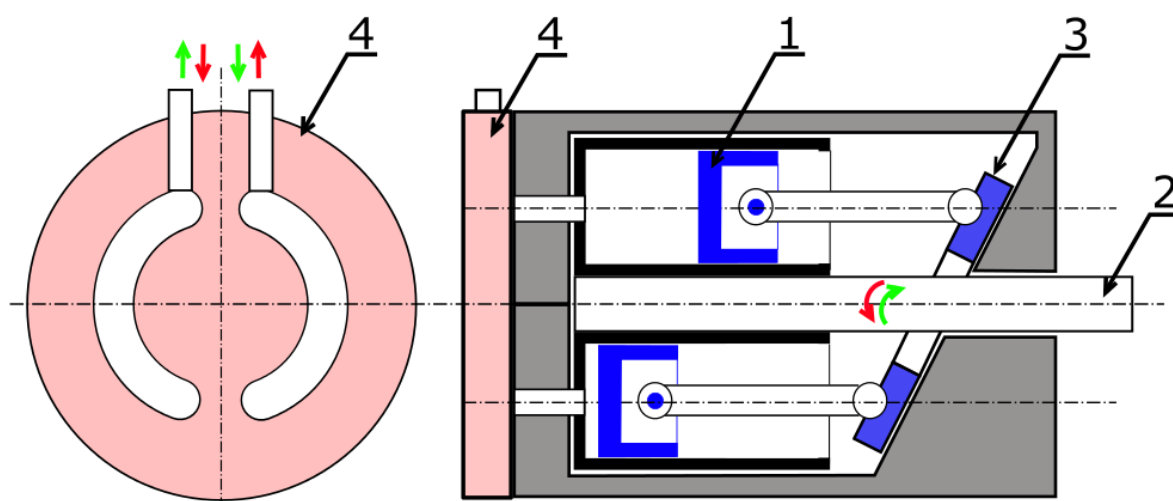
- Radiální pístové- písty 1 na obrázku 1.3.7 jsou umístěny kolmo na osu rotace (do hvězdy) a konají přímočarý vratný pohyb. Tento pohyb je transformován na rotační pohyb mechanickým klikovým převodem 2. Písty jsou střídavě tlakovány a odtlačovány pomocí rotačního rozváděče 3. Tyto pneumotory jsou určeny pro nižší otáčky a vysoké krouticí momenty.



Obr. 1.3.7 Radiální pístový rotační pneumotor

1- píst, 2- klikový mechanismus, 3- rotační rozváděč

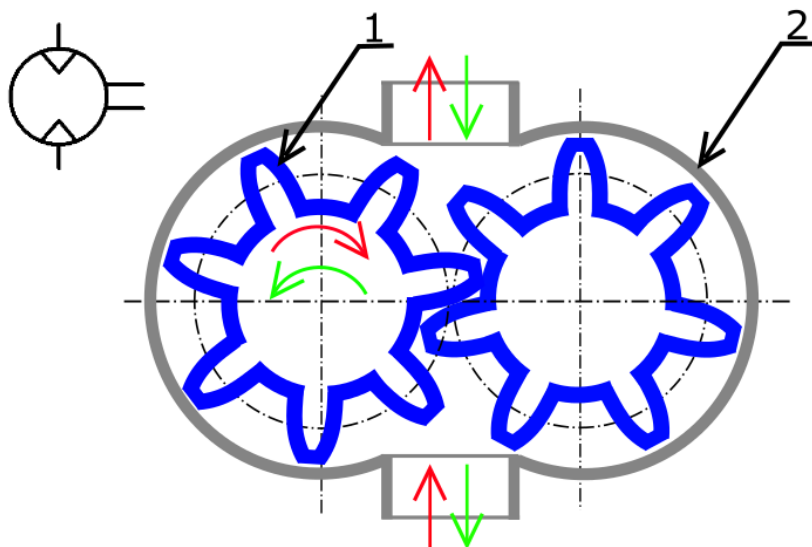
- Axiální pístové- písty *1* také konají přímočarý vratný pohyb, ale jsou umístěny rovnoběžně s osou rotace *2* a tlačí na nakloněnou desku *3*, která se vlivem zdvihu pístu začne otáčet. Vzduch je přiváděn do prostoru pístu rozvodnou deskou *4*. Tyto pneumotory jsou určeny pro vyšší otáčky ale pro nižší krouticí momenty v porovnání s pneumotory s písty umístěnými radiálně (do hvězdice).



Obr. 1.3.8 Axiální pístový rotační pneumotor

1- píst, 2- hřídel, 3- nakloněná deka, 4- rozvodná deska

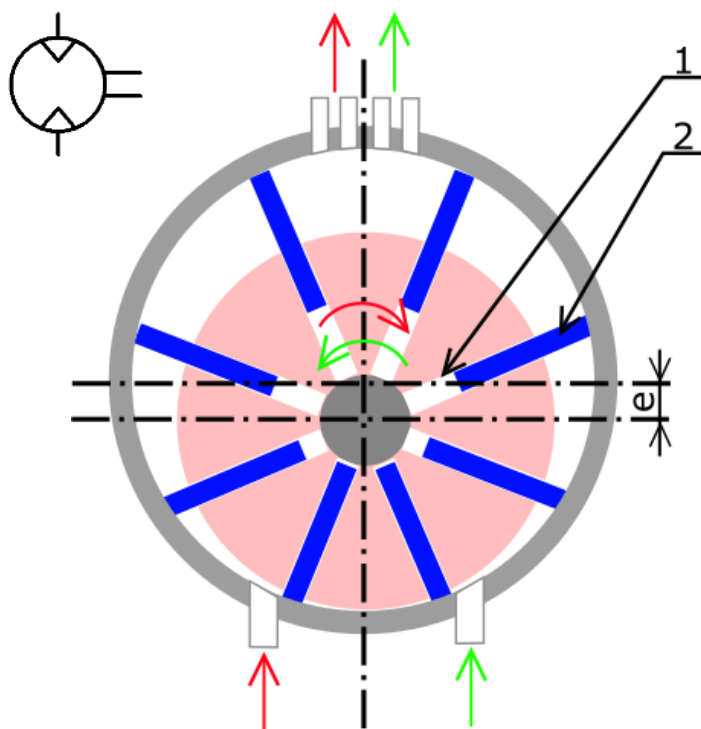
- Zubové- jsou opatřeny dvěma ozubenými koly 1 umístěnými v tělese 2 pneumotoru. Jedno kolo je spojeno s výstupní hřídelí. Zuby mohou být přímé, šikmé a šípové. Se šípovými zuby se pneumotory vyrábějí jako nereverzační a využívají částečnou expanzi. To znamená, že po zakrytí plnicího otvoru dochází ke snižování tlaku vlivem vyplňování zbytku zubové mezery, která nebyla dříve přístupná. Pneumotory s přímým a šikmým ozubením pracují jako plnotlaké a je možné provádět reverzaci otáček záměnou vstupu a výstupu. Konstrukčně jsou velmi jednoduché.



Obr. 1.3.9 Zubový rotační pneumotor

1- ozubené kolo, 2- těleso pneumotoru

- Lamelové- rotor na obrázku 1.3.10 má na povrchu vytvořené drážky 1, do kterých se vsadí lamely 2. Lamely mohou být přitlačovány na stěnu pomocí pružných elementů nebo odstředivou silou. U lamel přitlačovaných na stěnu odstředivou silou je nutné, aby byl pneumotor umístěn tak, aby se byl schopný po přivedení tlaku sám roztočit. Pneumotor s lamelami přitlačovanými odstředivou silou není schopen dodávat moment při nulových otáčkách, proto se používá pro přitlačování lamely například pružina. Rotor je v pneumotoru umístěn excentricky. Tlak je přiváděn do nejmenšího prostoru mezi lamelami tam postupně expanduje a tlačí na lamelu. Pokud jsou lamely ve fázi, kdy jsou stejně vysunuty tak už tlakový vzduch nevytváří silový účinek a prostor je třeba odvětrat. Pneumotory mohou být určeny pro jeden smysl otáčení případně reverzační. Lamely mohou být umístěny kolmo na osu, případně pod úhlem, pak se zvýší účinnost, ale není možno provádět reverzaci otáček.



Obr. 1.3.10 Lamelový rotační pneumotor

1- drážka, 2- lamela, e- excentricita

Zhodnocení

S ohledem na řešenou problematiku je nutné vybrat od každého typu pneumotoru takové, které jsou schopné přenášet velká zatížení.

Pneumotor s přímočarým pohybem: z této kategorie je nejvhodnější dvojčinný lineární pneumotor s jednostrannou pístnicí. Je konstrukčně velice jednoduchý, určen pro velké zdvihy a nenáročný na údržbu.

Pneumotor s kyvným pohybem: v této kategorii dosahuje největších přenášených momentů pístový kyvný pneumotor. Tento pneumotor může disponovat kyvem větším než 360°. Nenáročný na údržbu.

Pneumotor s rotačním pohybem: nejvhodnější bude použit lamelový rotační pneumotor. Výrobci dodávají rotační pneumotor s vestavěnou převodovkou pro optimalizaci otáček pro danou aplikaci a zatížení. Rotační pneumotory většinou vyžadují přimazávání stlačeného vzduchu a jsou tedy náročnější na údržbu.

1.4 Způsoby řízení směru pohybu pneumatického motoru

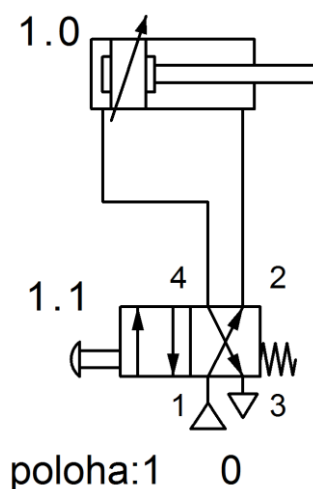
Pro správnou funkci pneumatického systému je nutné zvolit vhodný způsob řízení. V této kapitole budou popsány jednotlivé typy řízení a následně bude vybrán nejvhodnější způsob.

Řízení pohybu pneumotoru je možné provádět pomocí rozváděče. Ovládání rozváděče může být mechanické, pneumatického, elektrické nebo elektropneumatické. Kombinací různých prvků je možné docílit požadované činnosti pohonu [1].

a) Mechanické přímé ovládání rozváděče

Při stisku ovládacího tlačítka se přestaví 4/2 rozváděč 1.1 do polohy 1. Rozváděč spojí cestu 1, 4 a 2, 3. Tlak se dostane na stranu pístu a pístnice pneumatického motoru 1.0 se začne vysouvat, přes cestu 2, 3 dojde k odtlakování prostoru mezikruží. Po puštění tlačítka se rozváděč 1.1 přestaví do polohy 0. Tlak projde přes cestu 1, 2 na stranu mezikruží, cesta 4 se spojí s cestou 3 a vzduch může volně odcházet přes odfuk do atmosféry. Pístnice pneumotoru 1.0 se začne zasouvat. Pro držení vyjeté polohy je nutné držet sepnuté tlačítko nebo použít tlačítko s aretací.

Rozváděče ovládané přímo tlačítkem se vyrábějí menších světlostí, proto se tato metoda nehodí pro řízení obvodu větších průtoků stlačeného vzduchu. Dále s ohledem na tlakové ztráty ve vedení stlačeného vzduchu musí být rozváděč umístěn co nejbližší k pneumotoru. Není proto vhodné řízení z větších vzdáleností.

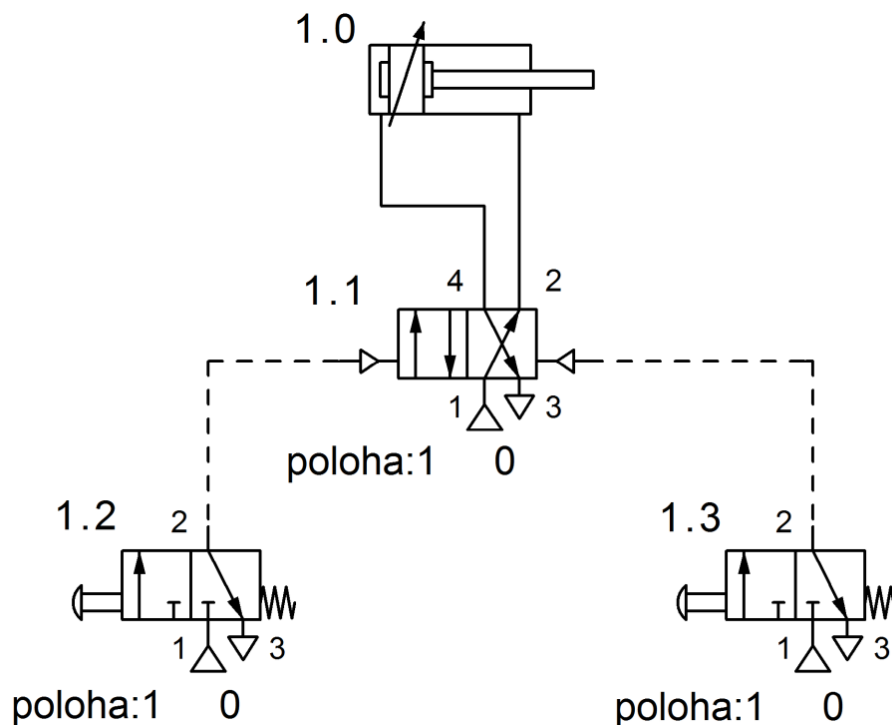


Obr. 1.4.1 Přímé řízení dvojčinného pneumotoru mechanickým tlačítkem

b) Pneumatické nepřímé ovládání rozváděče

Při stisku ovládacího tlačítka se přestaví 3/2 rozváděč 1.2 do polohy 1. Rozváděč spojí cestu 1, 2. Tlak se poté přivede na řídicí 4/2 rozváděč 1.1 a přestaví jej do polohy 1. Řídicí rozváděč spojí cestu 1, 4 a 2, 3. Tlak se přivede na stranu pístu, strana mezikruží se odtlakuje a pístnice pneumotoru 1.0 se začne vysouvat. Po uvolnění tlačítka se přestaví 3/2 rozváděč 1.2 do polohy 0. Výstup 2 se spojí s výstupem 3 a cesta k řídicímu rozváděči 1.1 se odtlakuje. Rozváděč zůstane ve své poloze, dokud se nezmáčkne tlačítko rozváděče 1.3. Po zmáčknutí tlačítka se 3/2 rozváděče 1.3 přestaví do polohy 1 a spojí se cesta 1, 2. Tlak se přivede na rozváděč 1.1, který se přestaví do polohy 0. Tlak projde přes cestu 1, 2 na stranu mezikruží, cesta 4 se spojí s cestou 3 a vzduch může volně odcházet přes odfuk do atmosféry. Pístnice pneumotoru 1.0 se začne zasouvat. Po uvolnění tlačítka rozváděče 1.3 se rozváděč přestaví do polohy 0 a cesta k rozváděči se odtlakuje 1.1.

Řídicí rozváděče se vyrábějí různých světlostí, proto nejsme omezeni průtokovou propustností prvku. Ovládací prvky mohou být umístěny ve větších vzdálenostech od řídicího rozváděče. Pro přestavení řídicího rozváděče nejsou potřeba vysoké tlaky jako pro vysouvání pneumotoru.

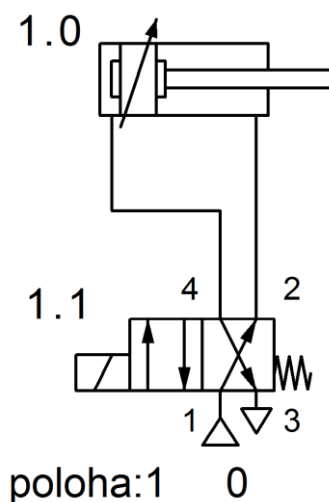


Obr. 1.4.2 Nepřímé řízení dvojčinného pneumotoru dvěma mechanickými tlačítky

c) Elektrické přímé ovládání rozváděče

Při stisku ovládacího tlačítka se přivede elektrický signál na cívku 4/2 rozváděče 1.1, který se přestaví do polohy 1. Rozváděč spojí cestu 1, 4 a 2, 3. Tlak se dostane na stranu pístu a pístnice pneumotického motoru 1.0 se začne vysouvat, přes cestu 2, 3 dojde k odtlačování prostoru mezikruží. Po puštění tlačítka a přerušení elektrického signálu se rozváděč 1.1 přestaví do polohy 0. Tlak projde přes cestu 1, 2 na stranu mezikruží, cesta 4 se spojí s cestou 3 a vzduch může volně odcházet přes odvětrání do atmosféry. Pístnice pneumotického motoru 1.0 se začne zasouvat. V případě, že požadujeme, aby pneumotor vyjel do koncové polohy a tam vyčkal na signál zajištění, je nutné použít elektrické samodržné zapojení nebo použít rozváděč, který má na obou stranách elektromagnety a pak musíme přivádět elektrický signál na příslušné cívky pro daný pohyb.

Rozváděče přímo ovládané elektrickým signálem se vyrábějí menších světlostí, proto se tato metoda nehodí pro řízení obvodu větších průtoků stlačeného vzduchu. Ovládání je možné provádět z větších vzdáleností. Pro obvod je nutné mít zdroj elektřiny.



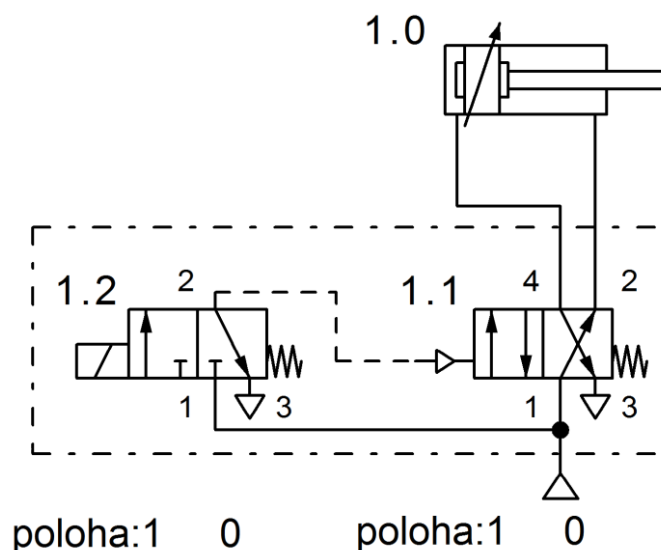
Obr. 1.4.3 Přímé řízení dvojčinného pneumotoru elektrickým signálem

d) Elektro-pneumatické nepřímé ovládání rozváděče

Při stisku ovládacího tlačítka se přivede elektrický signál na cívku pomocného 3/2 rozváděče 1.2, který se přestaví do polohy 1. U popisované varianty se jedná o rozváděč řídicího stupně, který je součástí hlavního rozváděče 1.1. Je také možné použít dva samostatné rozváděče bez změny popisované funkce. Rozváděč spojí cestu 1, 2. Tlak se poté přivede na hlavní řídicí 4/2 rozváděč 1.1 a přestaví jej do polohy 1.

Řídicí rozváděč spojí cestu 1, 4 a 2, 3. Tlak se přivede na stranu pístu, strana mezikruží se odtlakuje a pístnice pneumotoru 1.0 se začne vysouvat. Po puštění tlačítka se přeruší elektrický signál přivedený na pomocný 3/2 rozváděč 1.2 a ten se přestaví do polohy 0. Výstup 2 se spojí s výstupem 3 a cesta k hlavnímu řídicímu 4/2 rozváděči 1.1 se odtlakuje. Rozváděč se vlivem pružiny přestaví do polohy 0. Řídicí 4/2 rozváděč 1.1 spojí cestu 1, 2 a 4, 3. Tlak se přivede na stranu mezikruží, strana pístu se odtlakuje a pístnice pneumotor 1.0 se začne zasouvat. V případě, že požadujeme, aby pneumotor vyjel do koncové polohy a tam vyčkal na signál zjetí, je nutné použít elektrické samodržné zapojení.

Hlavní řídicí rozváděče se vyrábějí různých světlostí, proto nejsme omezeni průtokovou propustností prvku. Tlak pro přestavení hlavního řídicího rozváděče je přiveden pomocí menšího rozváděče ovládaného elektrickým signálem. Ovládací tlačítka mohou být umístěna ve větších vzdálenostech od řídicího rozváděče. Pro obvod je nutné mít zdroj elektřiny.



Obr. 1.4.4 Nepřímé řízení dvojčinného pneumotoru elektrickým signálem

Zhodnocení

Pro další řešení dané problematiky bude nejvhodnější použít pneumatické nepřímé ovládání. Ovládání je možné použít pro větší průtok stlačeného vzduchu. Ovládání řídicího rozváděče je možné provádět z větších vzdáleností a také není nutné přivádět na vagon zdroj elektrické energie, které by vyžadovalo elektrické ovládání. Dále čistě pneumatické řízení je velice jednoduché a pro jeho opravu není nutné mít speciální vzdělání.

1.5 Značení pneumatických prvků

Pro značení prvků ve schématu je možné použít jeden ze dvou níže popsanych způsobů. Značení portů je možné provést pomocí nového případně starého značení.

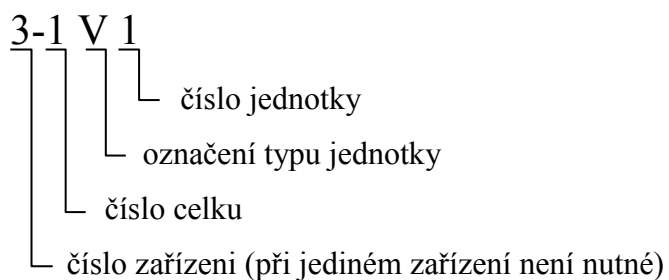
Obvyklé značení pneumatických prvků do skupin je založeno na použití číselného kódu, který slouží ke snadné orientaci ve schématu. Na základě tohoto typu značení je možné jednoduše určit například, zda se jedná o hlavní rozváděč či řídicí a zda tento řídicí rozváděč slouží pro vysouvání nebo zasouvání konkrétního pneumotoru. Je možné určit, které prvky slouží pro správnou funkci daného pneumotrou.

Přehled skupin

	Značení	Vysvětlení
Prvky zdroje vzduchu	0.X	<u>X</u> - pořadová číslice
Prvky ovládající vysouvání pístnice nebo první směr otáčení pneumotoru	X.2 X.4 X. ...	<u>X</u> - číslo určující ovládaný pneumotor <u>2.4...</u> - sudá číslice patří pro vysouvání pístnice nebo první směr otáčení pneumotoru
Prvky ovládající zasouvání pístnice nebo druhý směr otáčení pneumotoru	X.3 X.6 X. ...	<u>X</u> - číslo určující ovládaný pneumotor <u>3.6...</u> - lichá číslice patří pro zasouvání pístnice nebo druhý směr otáčení pneumotoru
Hlavní rozváděče	1.1 2.1 X.1	<u>První číslice (X)</u> - označuje ovládaný pneumotor <u>Druhá číslice</u> - vždy 1
Prvky umístěné mezi hlavním rozváděčem a pneumotorem	X.01 X.02 X. ...	<u>X</u> - určuje ke kterému pneumotoru prvek patří 01, 02, ...- pořadová číslice
Pracovní prvky	1.0 2.0 X.0	<u>První číslice (X)</u> - pořadová číslice <u>Druhá číslice</u> - vždy 0

Tab. 1.5.1 Přehled značení do skupin [2]

Je možné použít značení alfa numerické založené na kombinaci čísel a písmena v případech kdy je obvyklé značení do skupin nepřehledné.



Označení typu jednotky

Označení	Typ	Příklad
P	Čerpadla a kompresory	Pístový kompresor
A	Pohon	Válec
M	Motory pohonů	Elektromotor
S	Signální prvky	Tlačítko start, časová relé
V	Ventily	Rozváděč, uzavírací, škrťací, jednosměrné ventily
Z	Ostatní typy jednotek	Jednotka pro úpravu vzduchu

Tab. 1.5.2 Značení typu jednotky v alfa numerickém značení [4]

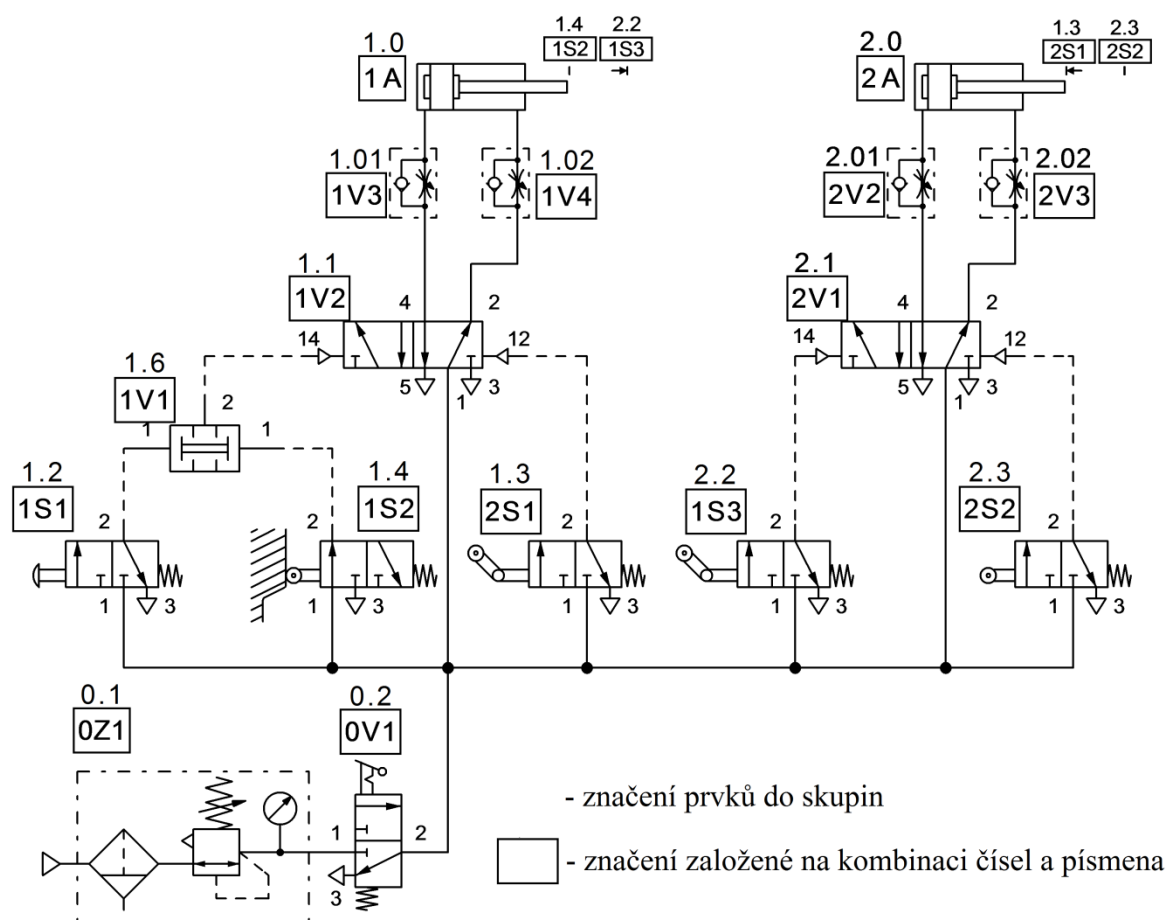
Další důležité značení v pneumatice je značení vstupů a výstupů. Toto značení je založeno na použití písmen (dřívější značení) nebo číslic (nové značení).

Značení připojení

	Staré značení	Nové značení
Připojení zdroje tlaku	P	1
Připojení odvodu do atmosféry	R, S, T	3, 5, 7
Připojení provozních výstupů	A, B, C	2, 4, 6
Připojení ovládacích (řídících) vstupů	X, Y, Z	12, 14, 16

Tab. 1.5.3 Značení vstupů a výstupů [2]

Příklad značení

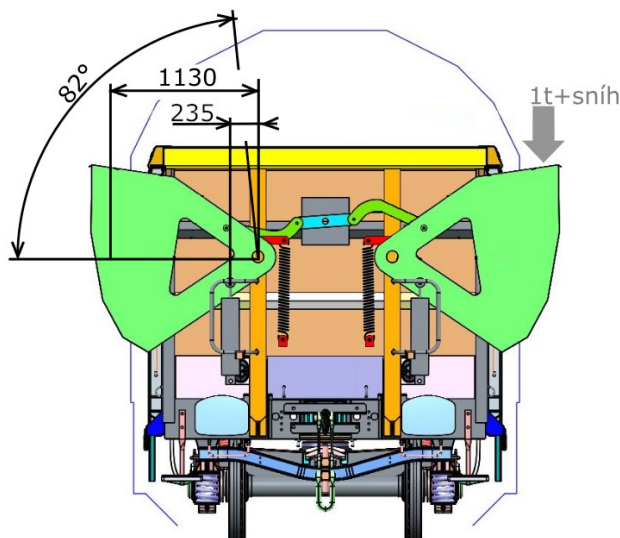


Obr. 1.5.1 Příklad značení pneumatických prvků i jejich připojení

2 Návrh pohonů

Zadavatel diplomové práce Parker Hannifin Czech Republic s.r.o. uvedl tyto požadavky a informace:

- systém zpracujte ve 3 variantách:
 - s použitím pneumatických válců přímočarých,
 - s použitím pneumatických kyvných motorů,
 - s použitím pneumatického rotačního motoru,
- úhel pro otevření střechy cca 82° , zdvih pístu přímočarého válce cca 550 mm, 50 otáček pro otevření střechy rotačním pneumotorem,
- hmotnost jednoho křídla střechy 1000 kg a také je nutné uvažovat přetížení sněhem v zimě,
- tlak pro výpočet 0,4 ~ 0,8 MPa, tlak ve vzduchovém potrubí k vagonu od lokomotivy je v rozsahu 1 ~ 1,6 MPa, pro výpočet je uvažován tlak v systému 0,4 MPa,
- pracovní teplota $-25 \sim +60^\circ\text{C}$, suchý nemazaný filtrovaný vzduch $<30\mu\text{m}$,
- manipulace se střechou jen při napojení na stlačený vzduch. Není nutné počítat se zásobníky vzduchu. Možnost napojení na externí přívod vzduchu z obou stran,
- venkovní prostředí, železniční prašnost,
- tlumení dojezdu do koncových poloh je zabezpečeno pryžovými dorazy,
- aretace střechy v uzavřeném stavu je zabezpečena tažnými pružinami, které také pomáhají v zavírání střechy,
- doba otevření střechy do jedné minuty při pracovním tlaku.



Obr. 2.1 Zadané parametry na vagonu

2.1 Zatížení

Výpočet celkového zatížení s uvažováním tíhy sněhu a samotné střechy. Hmotnost jednoho křídla střechy je 1 000 kg.

- Hmotnost sněhu na jednom křídle střechy

$$m_s = m_{s1} \cdot S_s = 56 \cdot \frac{3}{14} \cdot 22,5 = 270 \text{ kg}, \quad (1)$$

kde: m_{s1} ... hmotnost sněhu na střeše určená z charakteristické hodnoty pro 1 m², hodnotu je možné určit z tabulky na obrázku 2.1.1 pro určitou výšku a typ sněhu, volím výšku sněhu 3 cm, mokřý sníh který by na střeše mohl přimrznout,

S_s ... plocha křídla střechy: 22,5 m², rozměry křídla střechy: 1,5x15 m.

Zatížení dle ČSN 730035/Z3 (11/2006)

ČSN EN 1991-1-3/Z1 (11/2006)

Určete druh sněhu - uvažujte horší variantu - ve sloupci s Vaší sněhovou zónou najdete maximální výšku sněhu

Ze střech odstraňujte sníh symetricky z obou stran - nejlépe současně!

	Sněhová oblast	Objemová hmotnost sněhu (kg/m ³)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi (kPa)		0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	individuální určení
	hmotnost sněhu na střeše určená z charakteristické hodnoty (kg/m ²)		56	80	120	160	200	240	320	individuální určení
Druh sněhu	Čerstvý	100	56 cm	80 cm	120 cm	160 cm	200 cm	240 cm	320 cm	
	Ulehlý (několik hodin nebo dnů po napadnutí)	200	28 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	160 cm	
	Starý (několik týdnů nebo měsíců po napadnutí)	300	19 cm	27 cm	40 cm	53 cm	67 cm	80 cm	107 cm	
	Mokřý	400	14 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	80 cm	

Platí pro střechy do 30°

Obr. 2.1.1 Zatížení způsobené sněhovou pokrývkou [9]

- Potřebný moment pro manipulaci s celou střechou

$$M = (2 \cdot m + 2 \cdot m_s) \cdot r \cdot g = (2 \cdot 1000 + 2 \cdot 270) \cdot 1,13 \cdot 9,81, \quad (2)$$

$$M = 28\,157 \text{ N} \cdot \text{m},$$

kde: m ... hmotnost křídla střechy,

m_s ... hmotnost sněhu na křídle střechy,

r ... rameno působíště síly,

g ... tíhové zrychlení.

- Potřebná síla pro manipulaci se střechou na rameni 235mm

$$F = \frac{M}{r} = \frac{28\,157}{0,235} = 119\,817 \cong 119\,820 \text{ N}. \quad (3)$$

2.2 Návrh přímočarého pohonu

Dle požadavku zadavatele bude provedeno dimenzování pneumatického přímočarého pneumotoru na zatížení způsobené vahou střechy a sněhu. Tomu odpovídá celková síla 119 820 N dle rovnice 3. Zdvih pístu pneumotoru je požadován 550 mm.

a) Volba lineárního pneumotoru

- Síla od tíhy břemene pro jeden pneumotor

$$F_1 = \frac{F}{z} = \frac{119\,820}{4} = 29\,955\text{ N}, \quad (4)$$

kde: z ... počet pneumotorů.

- Odpor těsnění

$$R_o = a \cdot F_1 = 0,1 \cdot 29\,955 = 2\,995,5\text{ N}, \quad (5)$$

kde: $a = 0,1 \sim 0,3$... koeficient odporu těsnění, volím 0,1.

- Celková síla na jeden pneumotor

$$F_c = F_1 + R_o = 29\,955 + 2\,995,5 = 32\,950,5\text{ N}. \quad (6)$$

- Průměr pístu

$$S_1 = \frac{F_c}{p} = \frac{32\,950,5}{0,4 \cdot 10^6} = 0,0824\text{ m}^2, \quad (7)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0824}{\pi}} = 0,324\text{ m} \cong 320\text{ mm}, \quad (8)$$

kde: p ... tlak pro výpočet volím 0,4 MPa.

Dle výpočtu volím z katalogu firmy Parker Hannifin lineární dvojčinný pneumotor série P1D-T. Průměr pístu 320 mm, průměr pístnice 63 mm, pracovní tlak až 1 MPa, pneumotor pro nemazaný vzduch.



Obr. 2.2.1 Lineární dvojčinný pneumotor série P1D-T [17]

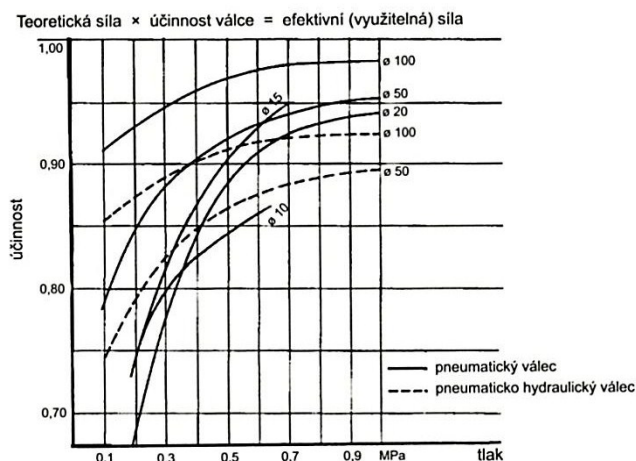
- Ověření skutečné síly zvoleného pneumotoru

$$F_{SK} = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,32^2}{4} = 32\,170 \text{ N}, \quad (9)$$

$$F_{SK} > F_c,$$

$$32\,170 < 32\,950,5 \gg \quad \underline{\text{podmínka není splněna.}}$$

Výsledná skutečná síla je o něco nižší než potřebná. Do výpočtu není zahrnuté čepové tření a síla od pružin. Pružiny pomáhají se zavíráním. Dále, pneumotor je zvolen s 90 % účinností. Jak je ale patrné z obrázku 2.2.2 pneumotory velkých průměru dosahují účinnosti až 98 %, takže výsledná síla by měla být dostatečná. Pneumomotor je navíc navrhován na minimální zadaný tlak, takže při nastavení vyššího tlaku lze problém odstranit. Kontrola se zahrnutím pružin bude uvedena dále.



Obr. 2.2.2 Graf účinnosti v závislosti na pracovním tlaku pro různé průměry pístu [3]

b) Kontrola pneumotoru se zahrnutím síly od pružin a čepového tření

- Výpočet síly pružiny:

Přesné rozměry pružiny nejsou známy, proto jsem je odměřil z fotek. Fotky zadavatel nedovolil zveřejnit. Výpočet pružiny dle charakteristických rozměrů jsem provedl pomocí portálu pro strojní konstruktéry obrázek 2.2.3. Portál je dostupný na internetové stránce www.e-konstrukter.cz.

Charakteristické rozměry:

Ø drátu: 20mm,

Ø průměr pružiny: 120 mm,

počet závitů: 34,

volná délka pružiny: 880 mm,

uzavřená střecha - délka pružiny: 980 mm, kolmé rameno: 150 mm,
otevřená střechy - délka pružiny: 1340 mm, kolmé rameno: 250 mm.

E-konstruktor
Portál pro strojní konstruktéry

EMAIL
HESLO
☐ zapamatovat heslo

NOVINKY **TECHNICKÉ VÝPOČTY** PRAKTICKÉ INFORMACE PŘEVODY JEDNOTEK CAD MODELY INZERCE ZAMĚSTNÁNÍ

VÝPOČET PNEUMATICKÝCH A HYDRAULICKÝCH VÁLCOV
VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY TLAKOVÉHO VZDUCHU
MOMENT SETRVAČNOSTI
MODUL PRŮŘEZU V KRUTU
KVADRATICKÝ MOMENT A MODUL PRŮŘEZU V OHYBU
GONIOMETRICKÉ FUNKCE
VÝPOČET PRŮHYBU NOSNÍKU
VZPĚR PŘÍMÝCH TYČÍ
VÝPOČET PRUŽIN
VÝPOČET KRITICKÝCH OTÁČEK KULČKOVÉHO ŠROUBU
TUPÉ SVARY
KOUTOVÉ SVARY
VÝPOČET LINEÁRNĚ ZRYCHLENÉHO POHYBU
PEVNOSTNÍ VÝPOČET ŠROUBŮ
VÝPOČET NAPĚTÍ
ROZKLAD SÍLY
VÝPOČET LINEÁRNÍ TEPLOTNÍ ROZTAŽNOSTI LÁTEK
VAKUUM
REYNOLDSOVO ČÍSLO
PÁKA VÝPOČET
TEST ZNALOSTÍ
TEST ZNALOSTÍ 1
tření závity formáty
tvrdost korozivzdornost

TECHNICKÉ VÝPOČTY

VÝPOČET PRUŽIN
VÝBĚR TYPU PRUŽINY

☐ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐

PRUŽINA VINUTÁ TAŽNÁ

☐ VÝPOČET SÍLY TAŽNÉ PRUŽINY ☐ VÝPOČET TUHOSTI TAŽNÉ PRUŽINY ☐ VÝPOČET ROZTAŽENÍ PRUŽINY

☐ SÍLA PRUŽINY A MAX. SMYKOVÉ NAPĚTÍ V DRÁTU ☒ NÁVRH TAŽNÉ PRUŽINY - DLE ROZMĚRŮ ☐ NÁVRH TAŽNÉ PRUŽINY - DLE SÍLY

NÁVRH TAŽNÉ PRUŽINY - DLE ROZMĚRŮ
Pro výpočet je uvažovaný materiál - pružinová ocel

Vstupní parametry

d průměr drátu mm **D_i** vnější průměr pružiny mm
l₀ volná délka pružiny mm **n** počet činných závitů

Výstupní hodnoty

k tuhost pružiny	F₈ síla pružiny
<input type="text" value="47.87962"/>	<input type="text" value="7660.7392"/> N
τ smykové napětí v drátu	l₈ délka pružiny
<input type="text" value="366.5049"/> MPa	<input type="text" value="1600"/> mm
L délka drátu pružiny	
<input type="text" value="11345.9"/> mm	

Obr. 2.2.3 Výpočet pomocí portálu pro konstruktéry [10]

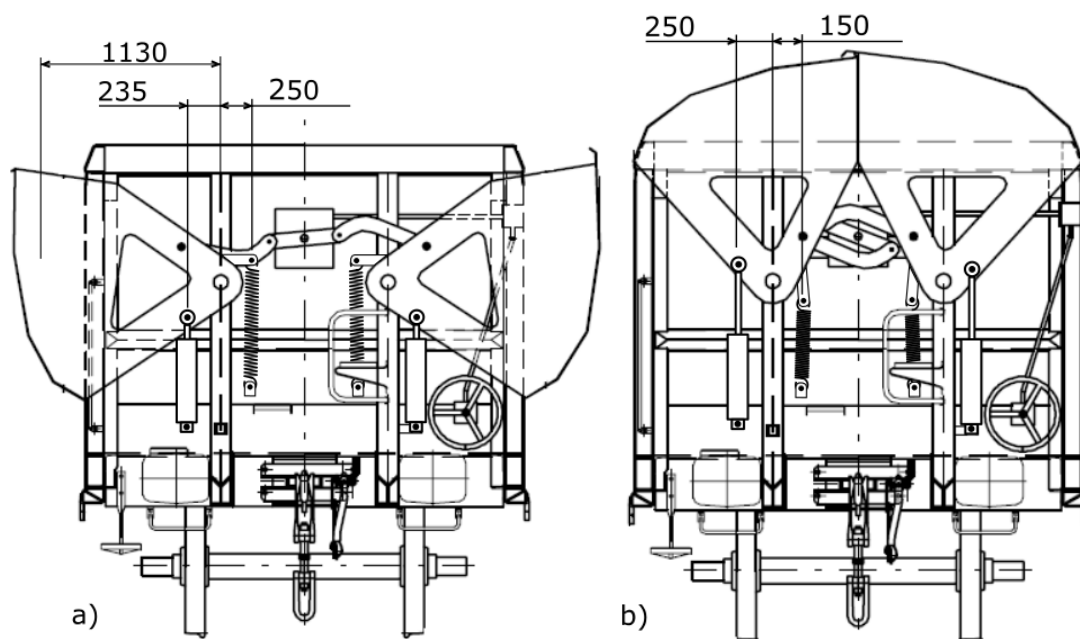
- Tuhost pružiny

$$k = \frac{F_8}{l_8 - l_0} = \frac{7660}{1,6 - 0,88} = 10\,640 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} = 10,64 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}, \quad (10)$$

kde: F_8 ... maximální síla při délce pružiny l_8 , síla vypočtena na obr. 2.1.4,

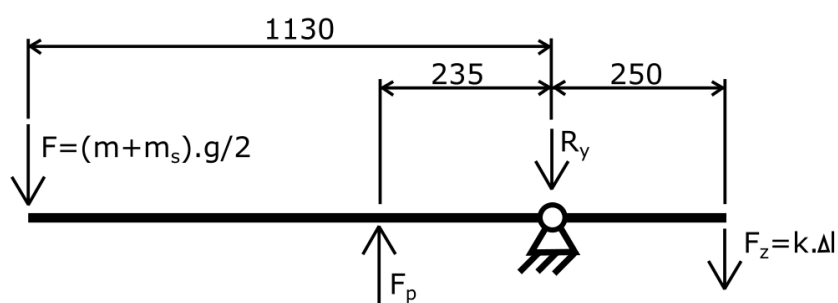
l_8 ... maximální délka pružiny, délka vypočtena na obr. 2.1.4,

l_0 ... volná délka pružiny, délka odměřena.



Obr. 2.2.4 Vzdálenosti působišť sil
a) otevřená střecha, b) zavřená střecha

- Výpočet reakce v čepu pro první polohu



Obr. 2.2.5 Uvolnění tělesa střechy

$$F_y: 0 = -F + F_p - R_y - F_z \gg R_y, \quad (11)$$

$$M: 0 = -F \cdot 1,13 + F_p \cdot 0,235 + F_z \cdot 0,25 \gg F_p, \quad (12)$$

kde: F ... síla od zátěže pro jeden pneumotor,

F_p ... síla vyvozená pneumotorem,

F_z ... síla vyvozená pružinou, $F_z = k \cdot \Delta l$,

k ... tuhost pružiny,

Δl ... prodloužení,

R_y ... reakce ve vazbě,

$$F_p = \frac{F \cdot 1,13 - F_z \cdot 0,25}{0,235} = \frac{\frac{(m + m_s) \cdot g}{2} \cdot 1,13 - k \cdot \Delta l \cdot 0,25}{0,235} \quad (13)$$

$$F_p = \frac{\frac{(1\,000 + 270) \cdot 9,81}{2} \cdot 1,13 - 10\,640 \cdot (1,34 - 0,88) \cdot 0,25}{0,235}$$

$$F_p = 24\,747 \text{ N},$$

$$R_y = F_p - F - F_z = F_p - \frac{(m + m_s) \cdot g}{2} - k \cdot \Delta l \quad (14)$$

$$R_y = 24\,747 - \frac{(1\,000 + 270) \cdot 9,81}{2} - 10\,640 \cdot (1,34 - 0,88)$$

$$R_y = 13\,623 \text{ N}.$$

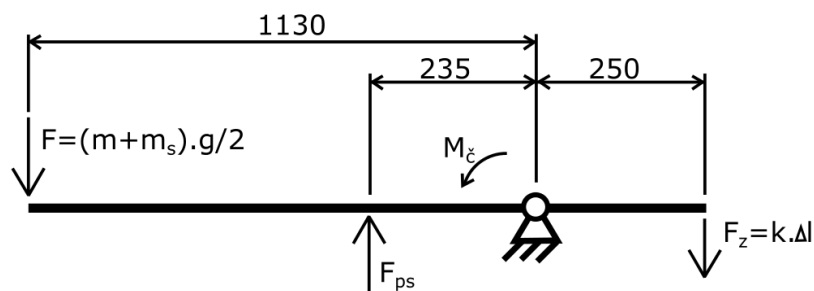
- Výpočet čepového tření

$$M_{\xi} = r_{\xi} \cdot f \cdot R_y = 0,025 \cdot 0,15 \cdot 13\,623 = 51 \text{ N} \cdot \text{m}, \quad (15)$$

kde: r_{ξ} ... poloměr čepu,

f ... koeficient tření, volím suché tření ocel/ocel $f=0,15$.

- Síla pneumotoru se zahrnutím čepového tření a síly pružiny pro první polohu



Obr. 2.2.6 Nahrazení reakční síly ve vazbě čepovým třením

$$M: 0 = -F \cdot 1,13 + F_{ps} \cdot 0,235 - M_{\xi} + F_z \cdot 0,25 \quad \gg F_p, \quad (16)$$

$$F_{ps} = \frac{F \cdot 1,13 + M_{\xi} - F_z \cdot 0,25}{0,235} = \frac{\frac{(m + m_s) \cdot g}{2} \cdot 1,13 + M_{\xi} - k \cdot \Delta l \cdot 0,25}{0,235} \quad (17)$$

$$F_{ps} = \frac{\frac{(1\,000 + 270) \cdot 9,81}{2} \cdot 1,13 + 51 - 10\,640 \cdot (1,34 - 0,88) \cdot 0,25}{0,235}$$

$$F_{ps} = 24\,965 \text{ N}.$$

- Odpor těsnění

$$R_o = a \cdot F_{ps} = 0,1 \cdot 24\,965 = 2\,496,5 \text{ N}, \quad (18)$$

kde: $a = 0,1 \sim 0,3 \dots$ koeficient odporu těsnění, volím 0,1.

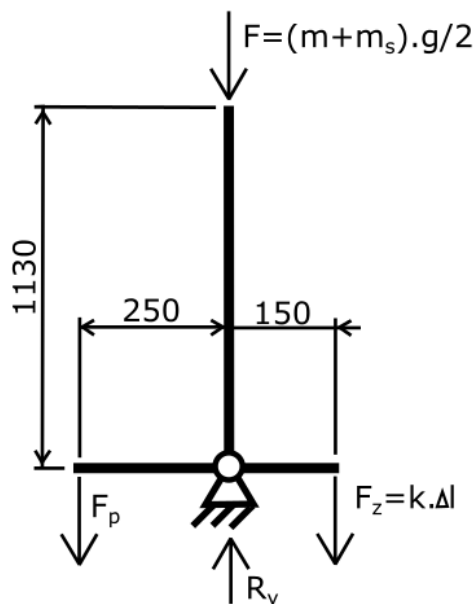
- Celková síla pro jeden pneumotor a otevřenou střechu

$$F_c = F_{ps} + R_o = 24\,965 + 2\,496,5 = 27\,461,5 \text{ N}, \quad (19)$$

$$F_{SK} > F_c,$$

$$32\,170 > 27\,461,5 \gg \text{podmínka splněna.}$$

- Výpočet reakce v čepu pro druhou polohu



Obr. 2.2.7 Uvolnění tělesa střechy

$$F_y: 0 = -F - F_p - F_z + R_y \gg R_y, \quad (20)$$

$$M: 0 = -F_p \cdot 0,25 + F_z \cdot 0,15 \gg F_p, \quad (21)$$

$$F_p = \frac{F_z \cdot 0,15}{0,25} = \frac{k \cdot \Delta l \cdot 0,15}{0,25} = \frac{10\,640 \cdot (0,98 - 0,88) \cdot 0,15}{0,25} = 638,4 \text{ N}, \quad (22)$$

$$R_y = F + F_p + F_z = \frac{(m + m_s) \cdot g}{2} + F_p + k \cdot \Delta l \quad (23)$$

$$R_y = \frac{(1000 + 270) \cdot 9,81}{2} + 638,4 + 10\,640 \cdot (0,98 - 0,88) = 7\,932 \text{ N}.$$

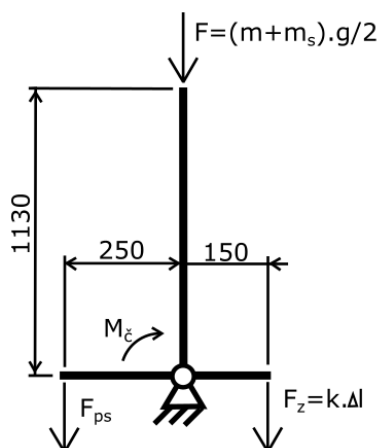
- Výpočet čepového tření

$$M_{\check{c}} = r_{\check{c}} \cdot f \cdot R_y = 0,025 \cdot 0,15 \cdot 7\,932 = 29,7 \text{ N} \cdot \text{m}, \quad (24)$$

kde: $r_{\check{c}}$... poloměr čepu,

f ... koeficient tření, volím suché tření ocel/ocel $f=0,15$.

- Síla pneumotoru se zahrnutím čepového tření a síly pružiny pro druhou polohu



Obr. 2.2.8 Nahrazení reakční síly ve vazbě čepovým třením

$$M: 0 = -F_{ps} \cdot 0,25 + F_z \cdot 0,15 + M_{\check{c}} \quad \gg F_{ps}, \quad (25)$$

$$F_{ps} = \frac{F_z \cdot 0,15 + M_{\check{c}}}{0,25} = \frac{k \cdot \Delta l \cdot 0,15 + M_{\check{c}}}{0,25} \quad (26)$$

$$F_{ps} = \frac{10\,640 \cdot (0,98 - 0,88) \cdot 0,15 + 29,7}{0,25} = 757,4 \text{ N}.$$

- Odpor těsnění

$$R_o = a \cdot F_{ps} = 0,1 \cdot 757,4 = 75,74 \text{ N}, \quad (27)$$

kde: $a = 0,1 \sim 0,3$... koeficient odporu těsnění, volím 0,1.

- Celková síla na jeden pneumotor

$$F_c = F_{ps} + R_o = 757,4 + 75,74 = 833,14 \text{ N}. \quad (28)$$

- Ověření skutečné síly zvoleného pneumotoru na mezikruží

$$F_{SK} = p \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = 0,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot (0,32^2 - 0,063^2)}{4} = 30\,923 \text{ N}, \quad (29)$$

$$F_{SK} > F_c,$$

$$30\,923 > 833,14 \quad \gg \quad \underline{\text{podmínka splněna.}}$$

Pneumotor vyhovuje pro zavření i otevření střechy.

c) Kontrola pístnice na vzpěr

Pístnici pneumotoru je nutné pevnostně zkontrolovat. Pneumotor je ukotven na obou stranách v čepech.

- Moment setrvačnosti průřezu pístnice

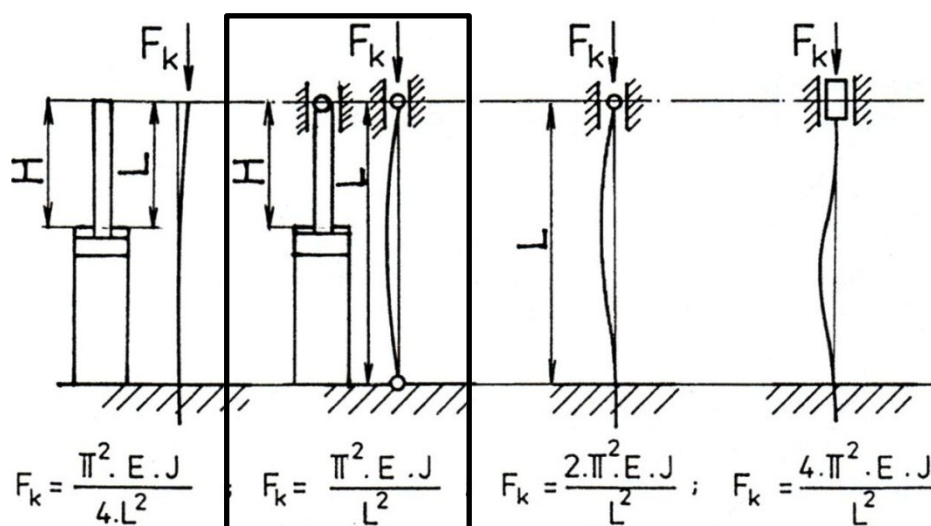
$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,063^4}{64} = 7,73 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4. \quad (30)$$

- Redukovaná délka

$$L_{\text{RED}} = 2 \cdot H + 0,1 = 2 \cdot 0,55 + 0,1 = 1,2 \text{ m}, \quad (31)$$

kde: H ... zdvih pístu lineárního pneumotoru, požadavek od zadavatele 550 mm.

0,1...přídavek na upnutí pneumotoru, 100 mm.



Obr. 2.2.9 Vzorce pro výpočet vzpěrné pevnosti [1]

- Kritická síla

$$F_{\text{KR}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L_{\text{RED}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,73 \cdot 10^{-7}}{1,2^2} = 1\,112\,983 \text{ N}, \quad (32)$$

kde: E ...modul pružnosti v tahu pro ocel, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa} = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$.

- Přípustná kritická síla

$$F_{\text{KRDOV}} = \frac{F_{\text{KR}}}{k_B} = \frac{1\,112\,983}{5} = 222\,597 \text{ N}, \quad (33)$$

kde: k_B - koeficient bezpečnosti 3,5~10,

$$F_{\text{SK}} < F_{\text{KRDOV}},$$

$$32\,170 < 222\,597 \gg \text{podmínka splněna.}$$

- Kontrola na mezní případ vzpěru

$$F_{SKMAX} = p_{max} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,8 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,32^2}{4} = 64\,340 \text{ N}, \quad (34)$$

kde: p_{max} ... volím 0,8 MPa, maximální nastavitelný tlak na redukčním ventilu,

$$F_{SKMAX} < F_{KRDOV},$$

$$64\,340 < 222\,597 \gg \quad \underline{\text{podmínka splněna, pístnice pevnostně vyhovuje.}}$$

d) Výpočet spotřeby vzduchu

Doba otevření a zavření je stanovena na 1 minutu. Pro návrh volím čas zavření na 50 sekund, zbývající čas uvažuji jako rezervu pro rozběh a brždění. Pro zavírání bude potřeba více vzduchu, protože při otevírání část prostoru pneumotoru zaujímá pístnice. Návrh bude tedy proveden pro vysouvání pneumotoru.

- Průtok potřebný pro 1 pneumotor

$$Q_M = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{0,55}{50} \cdot \frac{\pi \cdot 0,32^2}{4} = 8,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \quad (35)$$

$$Q_M = 53,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1},$$

kde: v ... rychlost, $v=H/t_z$, H ... zdvih, t_z ... čas zdvihu.

- Průtok přepočtený na technické normální podmínky za min. pracovní teploty

$$t_{min} = -25 \text{ °C} \dots T_{min} = 248,15 \text{ K},$$

$$Q_{Mn\ t\ min} = Q_M \cdot \frac{p_{1abs}}{p_n} \cdot \frac{T_N}{T_{min}} = 8,85 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,5}{0,1} \cdot \frac{293,15}{248,15} \quad (36)$$

$$Q_{Mn\ t\ min} = 5,23 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3_N \cdot \text{s}^{-1} = 313,5 \text{ dm}^3_N \cdot \text{min}^{-1},$$

kde: technické normální podmínky: $T_N = 293,15 \text{ K}$, $p_n = 0,1 \text{ MPa}$,

$$p_{1abs} = p + p_n = 0,4 + 0,1 = 0,5 \text{ MPa}.$$

- Průtok přepočtený na technické normální podmínky za max. pracovní teploty

$$t_{max} = 60 \text{ °C} \dots T_{max} = 333,15 \text{ K},$$

$$Q_{Mn\ t\ max} = Q_M \cdot \frac{p_{1abs}}{p_n} \cdot \frac{T_N}{T_{max}} = 8,85 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,5}{0,1} \cdot \frac{293,15}{333,15} \quad (37)$$

$$Q_{Mn\ t\ max} = 3,89 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3_N \cdot \text{s}^{-1} = 233,5 \text{ dm}^3_N \cdot \text{min}^{-1}.$$

Spotřeba vzduchu bude největší při nejnižší pracovní teplotě. Pro jeden pneumotor je potřeba průtok přepočtený na normální podmínky $313,5 \text{ dm}^3_N \cdot \text{min}^{-1}$.

e) Návrh světlostí potrubí

Pro výpočet je nutné znát průtok stlačeného vzduchu v $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a rychlost proudění vzduchu v potrubí.

Doporučená rychlost v potrubí dle [1]: u velmi rozsáhlých sítí $5 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

u vnitřních rozvodů v podnicích $10 \sim 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

v rozvodech ke spotřebiči $15 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

v ovládacích obvodech $20 \sim 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Průtok stlačeného vzduchu pro jeden pneumotor dle rovnice 35:

$$Q_M = 8,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

- Průměr přívodního vedení

Potrubí napájí čtyři pneumotory.

$$d_p = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q_M \cdot z}{v}} = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{8,85 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 \cdot 4}{15}} = 17,3 \text{ mm}, \quad (38)$$

kde: z ...počet pneumotorů,

v ... rychlost v potrubí volím $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- Průměr přívodního vedení k rozváděči

Potrubí napájí dva pneumotory.

$$d_p = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q_M \cdot z}{v}} = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{8,85 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 \cdot 2}{15}} = 12,3 \text{ mm}. \quad (39)$$

- Průměr vedení k pneumotoru

$$d_p = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q_M}{v}} = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{8,85 \cdot 10^{-4} \cdot 3600}{15}} = 8,7 \text{ mm}. \quad (40)$$

Volím vnitřní průměr hadice: - přívodní vedení 16 mm,

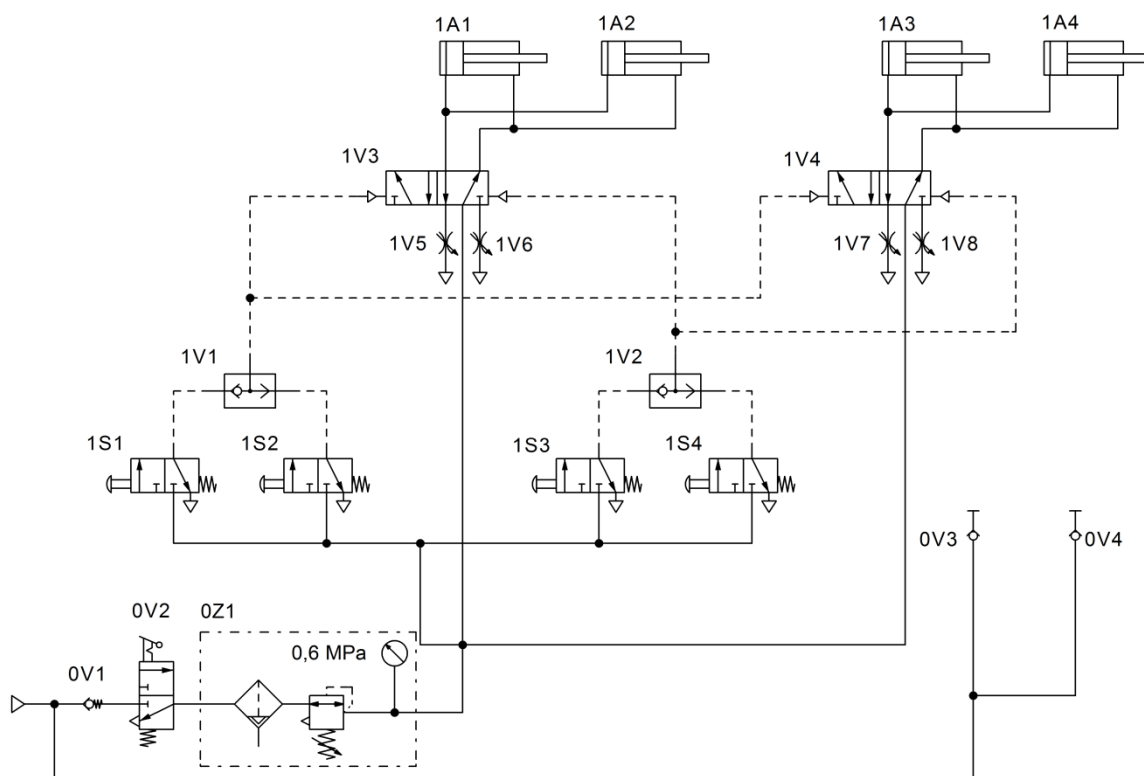
- vedení k rozváděči 12 mm,

- vedení k pneumotoru 10 mm,

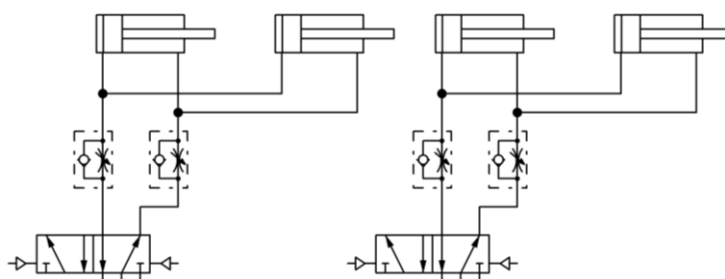
- signální vedení 6 mm.

g) Návrh pneumatického obvodu

Pneumatický obvod musí zabezpečit otevření a zavření střechy z obou stran vagonu. Po zmáčknutí tlačítka pro otevření střechy se všechny pístnice zasunou. Po zmáčknutí tlačítka pro zavření střechy se všechny pístnice vysunou. V obvodu je použito škrcení na výstupu z rozváděče, protože sortiment prvků zadavatele práce neobsahuje škrticí jednosměrné ventily ve variantě pro nízké teploty. Pokud by takové ventily v nabídce byly, mohlo by být použito „běžné“ zapojení, jaké je vyobrazené na obrázku 2.2.11. Obvod musí umožnit připojení vagonu na externí zdroj vzduchu. Tlumení dojezdu střechy do koncových poloh je řešeno pryžovými dorazy. Aretace střechy je zabezpečena pomocí pružin. Nejvhodnější bude použití alfa numerického značení. Podrobné pneumatické schéma je uvedeno v příloze PŘÍLOHA-A a kusovník jednotlivých prvků v příloze PŘÍLOHA-A-SP.



Obr. 2.2.10 Pneumatický obvod pro obvod s lineárními pneumotory



Obr. 2.2.11 Alternativní zapojení škrticích ventilů

0V1- jednosměrný ventil,
 0V2- rozváděč 3/2, ovládaný otočnou pákou s aretací,
 0Z1- jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu s automatickým odlučovačem kondenzátu,
 0V3; 0V4- externí přípojky stlačeného vzduchu,
 1S1; 1S2- rozváděč 3/2 ovládaný tlačítkem, monostabilní, rozváděč pro zavírání střechy,
 1S3; 1S4- rozváděč 3/2 ovládaný tlačítkem, monostabilní, rozváděč pro otevírání střechy,
 1V1; 1V2- logický prvek OR,
 1V3; 1V4- rozváděč 5/2 ovládaný pneumatickým signálem, bistabilní,
 1V5; 1V6; 1V7; 1V8- škrťací ventily umístěné na výstupu z rozváděče,
 1A- dvojčinné lineární pneumatory bez tlumení.

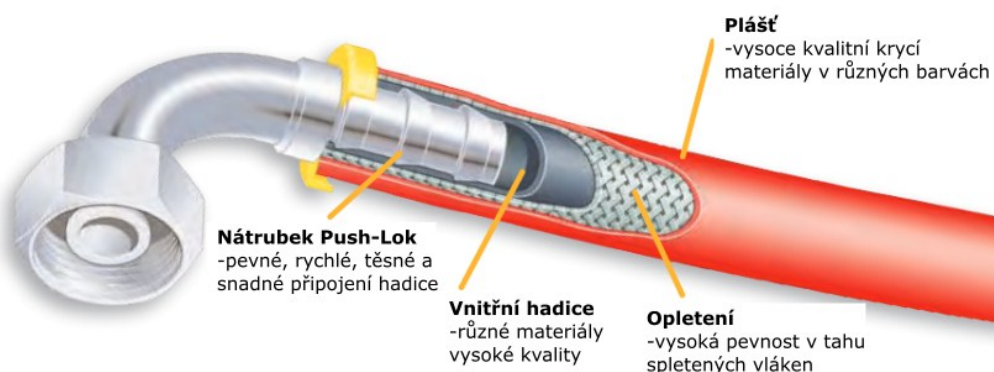
h) Specifikace pneumatických prvků včetně propojení

Dle zadání je nutné všechny prvky volit z katalogu firmy Parker Hannifin.

Hadice- pro propojení jednotlivých komponent volím hadicový systém Push-Lok. Montáž pomocí systému Push-Lok je velice snadná, stačí nasunout opletenou hadici na speciální šroubení a spojení je připraveno na používání. Není potřeba žádné speciální nářadí nebo sponky. Demontáž šroubení se provádí rozřezáním hadice.

Vedení:	přívodní	k rozváděči	k pneumotoru	signální
Objednávací kód:	801-10	801-8	801-6	801-4
Maximální tlak:	2,1 MPa	2,1 MPa	2,4 MPa	2,4 MPa
Vnitřní průměr:	15,9 mm	12,7 mm	9,5 mm	6,4 mm
Vnější průměr:	23 mm	19,8 mm	15,9 mm	12,7 mm
Pracovní teplota:	-40~70 °C	-40~70 °C	-40~70 °C	-40~70 °C
Minimální úhel ohybu:	150 mm	125 mm	75 mm	65 mm

Tab. 2.2.1 Použité hadice v obvodu



Obr. 2.2.12 Hadicový systém Push-Lok [15]

Jednosměrný ventil 0V1- slouží pro hrazení průtoku v jednom směru. Je umístěn v přívodním potrubí tak, aby se stlačený vzduch nevracel zpátky do přívodního potrubí.

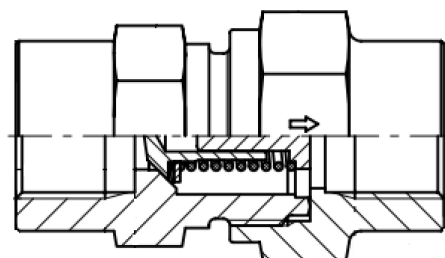
Objednávací kód: RHD11/271.

Maximální tlak: 31,5 MPa.

Šroubení: G 1/2.

Propustnost: výrobce neudává.

Počet kusů: 1.



Obr. 2.2.13 Jednosměrný ventil [12]

Rozváděč 3/2, ovládaný otočnou pákou s aretací 0V2- slouží pro odpojení obvodu od stlačeného vzduchu a následně i obvod odvzdušnění tak, aby nedošlo k úrazu při servisní manipulaci s obvodem.

Objednávací kód: P32VB14LBNN.

Maximální tlak: 1,7 MPa.

Šroubení: vstup G 1/2, výstup G 1/4.

Propustnost: $7\,320\text{ dm}^3_{\text{N}}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pracovní teplota: -40~80°C.

Počet kusů: 1.



Obr. 2.2.14 Rozváděč 3/2, ovládaný pákou s aretací [11]

Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu s automatickým odlučovačem kondenzátu 0Z1- slouží pro úpravu vzduchu, aby nepoškodil jednotlivé prvky v obvodu. Nejprve je vzduch zbaven nečistot i vlhkosti a následně redukční ventil sníží tlak na požadovanou hodnotu.

Objednávací kód: P32EB14ESAPNGP.

Maximální tlak: 1,7 MPa.

Maximální redukovaný tlak: 0,8 MPa.

Filtrační schopnost: $5\mu\text{m}$,

(dostačující pro všechny prvky).

Šroubení: G 1/2.

Propustnost: $2\,100\text{ dm}^3_{\text{N}}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pracovní teplota: -25~65,5°C.

Odvod kondenzátu: automaticky.

Počet kusů: 1.



Obr. 2.2.15 Jednotka pro úpravu vzduchu [11]

Rozvodná kostka jednotky pro úpravu vzduchu- lze ji připojit přímo na modul jednotky pro úpravu vzduchu pomocí spojovací části P32KA00MT, která slouží k propojování jednotlivých modulů jednotky. Kostka slouží pro větvení rozvodu vzduchu.

Objednávací kód: P32MA14024N.

Šroubení: vstup G 1/2, výstup 2x G 1/2, 1xG 1/4.

Počet kusů: 1.



Obr. 2.2.16 Rozvodná kostka [11]

Rozváděč 5/2 ovládaný pneumatickým signálem, bistabilní 1V3; 1V4- v obvodu slouží pro ovládání pohybu pneumotorů. Řízení rozváděče je provedeno pomocí externě přivedeného tlakového signálu. Robustní rozváděč řady Viking Xtreme je určený pro velký rozsah provozní teploty.

Objednávací kód: P2LBX512PP.

Maximální tlak: 1,6 MPa.

Šroubení: cesta:1,2,3,4,5: G1/4.

cesta: 12,14: G1/8.

Propustnost: $2\,280\text{ dm}^3_{\text{N}}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pracovní teplota: -40~60°C.

Počet kusů: 2.



Obr. 2.2.17 Rozváděč 5/2 Viking Xtreme [13]

Dvojčinný lineární pneumotor 1A- slouží pro zavírání a otevírání střechy. Při vysunutí pneumotoru se střecha uzavře. Tlumení koncových poloh není nutné, tlumení je zabezpečeno pomocí pryžových dorazů střechy.

Objednávací kód: P1D-T320MS-0550.

Průměr pístnice: 63 mm.

Průměr pístu: 320 mm.

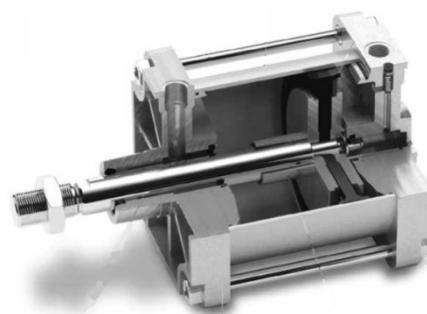
Zdvih pístu: 550 mm.

Maximální tlak: 1 MPa.

Šroubení: G1.

Pracovní teplota: -20~80°C– po konzultaci se zadavatelem je možné tento pneumotor použít, i když nesplňuje podmínku minimální pracovní teploty -25°C.

Počet kusů: 4.



Obr. 2.2.18 Dvojčinný pneumotor [17]

Škrticí ventil *1V5; 1V6; 1V7; 1V8*- slouží pro snížení průtoku vzduchu a tím snižuje rychlost pohybování pístnice. Ventil je umístěn tak, aby brzdil pohyb pístnice.

Objednávací kód: VQB42-O-5.

Maximální tlak: 1 MPa.

Šroubení: G 1/2.

Propustnost: $3\,600\text{ dm}^3_{\text{N}}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pracovní teplota: $-40\sim 70^{\circ}\text{C}$.

Počet kusů: 4.



Obr. 2.2.19 Škrticí ventil [13]

Rozváděč 3/2 ovládaný tlačítkem, monostabilní *1S1; 1S2; 1S3; 1S4*- v obvodu slouží pro řízení hlavního rozváděče. Po zmáčknutí tlačítka přivede rozváděč vzduch na hlavní a ten se přestaví. Tlačítka jsou umístěna na obou stranách vagonu vždy dvě. Jedno pro otevření střechy (černé) druhé pro zavření střechy (červené).

Objednávací kód: VA13-HIS4A06 (černé), VA13-HIS4 (červené).

Maximální tlak: 1 MPa.

Šroubení: G 1/8.

Propustnost: $360\text{ dm}^3_{\text{N}}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pracovní teplota: $-40\sim 70^{\circ}\text{C}$.

Počet kusů: 2 černá, 2 červená.



Obr. 2.2.20 Řídicí rozváděč 3/2 [13]

Logický prvek OR *1V1; 1V2*- signály z řídicích rozváděčů jsou přivedeny do logického prvku a následně je signál přiveden do hlavního rozváděče. Prvek slouží pro sloučení signálů z obou stran vagonu. Není možné použít obyčejný T-kus protože by se signál odvětral přes druhý rozváděč, musela by být tedy zmáčknuta obě tlačítka pro vyjetí nebo zajetí.

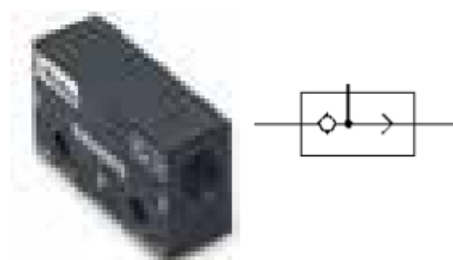
Objednávací kód: B53005BS5.

Maximální tlak: 1,7 MPa.

Šroubení: G 1/4.

Pracovní teplota: $-40\sim 80^{\circ}\text{C}$.

Počet kusů: 2.



Obr. 2.2.21 Logický prvek OR [13]

Pro všechny prvky je dostačující filtrace na 5 mikrometrů, vzduch je dle zadavatele v lokomotivě vysušen, přímočarý motor není třeba přimazávat. Vzhledem k požadavku na práci při teplotě -25°C je třeba zajistit kvalitu vzduchu 3.2.3 dle normy ISO8573-1 (3- filtrace $5\text{ }\mu\text{m}$, 2- tlakový rosný bod -40°C , 3- max. koncentrace oleje $1\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

i) Kontrola propustnosti prvků

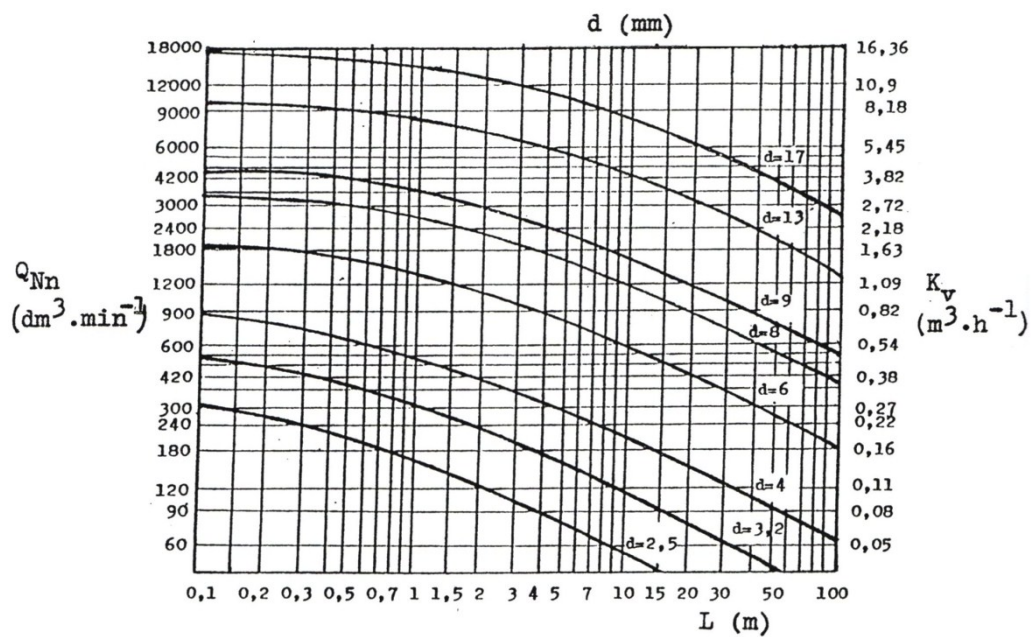
Kontrolu je nutné provést pro čtyři pneumatiky, protože pracují zároveň. Systém se větví na dvě části. Pro jeden pneumatik je dle rovnice 36 potřebný průtok přepočtený na normální podmínky $313,5 \text{ dm}^3_{\text{N}} \cdot \text{min}^{-1}$. Propustnost výrobce neudává u všech prvků, proto jsem použil pro zjištění propustnosti šroubení tabulku 2.2.3 a z diagramu na obrázku 2.2.22 jsem určil propustnost vedení. Pro zjištění přibližné propustnosti jednosměrného ventilu jsem použil literaturu [1].

Prvek	Propustnost prvku [$\text{dm}^3_{\text{N}} \cdot \text{min}^{-1}$]	Počet kusů
Přívodní hadice $\phi d=16 \text{ mm}$, $L=2 \text{ m}$	11 000	1
Šroubení G1/2	14 960	2
Jednosměrný ventil G1/2	4 500	1
3/2 rozváděč	7 320	1
Jednotka pro úpravu vzduchu	2 100	1
Šroubení G1/2	8 440	1;1
Hadice k bližšímu rozváděči $\phi d=12 \text{ mm}$, $L=0,3 \text{ m}$	7 000	0;1
Hadice ke vzdálenějšímu rozváděči $\phi d=12 \text{ mm}$, $L=20 \text{ m}$	2 400	1;0
Šroubení G1/4	3 700	3;3
5/2 rozváděč	2 280	1;1
Hadice k pneumatiku $\phi d=10 \text{ mm}$, $L=2 \text{ m}$	4 000	1;1

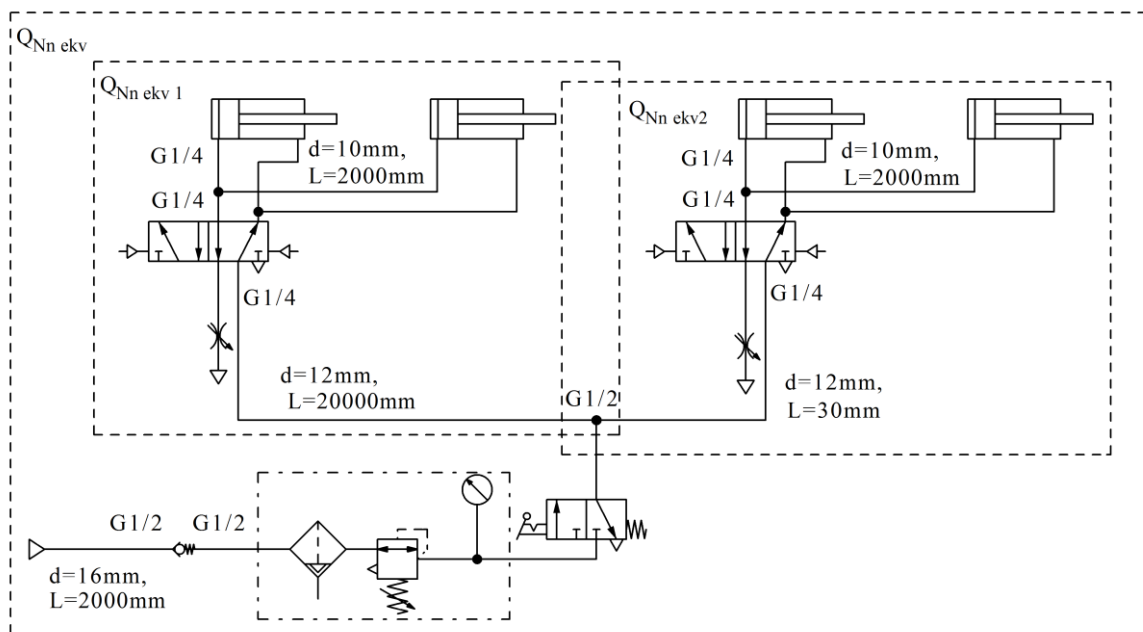
Tab. 2.2.2 Parametry propustnosti prvků

Jmenovitá světlost šroubení d (mm) (")		K_v ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Q_{Nn} ($\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)
2	G 1/8	0,21	230
2,5	G 1/4	0,33	367
4	G 1/8	0,85	940
6	G 1/4	1,92	2100
8	G 1/4	3,45	3700
10	G 3/8	5,33	5850
12	G 1/2	7,67	8440
16	G 1/2	13,63	14960
20	G 3/4	21,32	24500

Tab. 2.2.3 Tabulka propustnosti šroubení [1]



Obr. 2.2.22 Diagram propustnosti vedení [1]

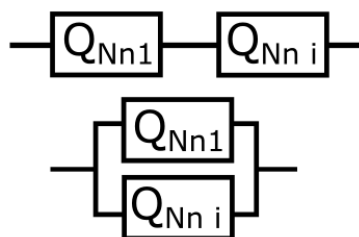


Obr. 2.2.23 Upořádání pneumatických prvků

- Výpočet ekvivalentního průtoku [1]

$$Q_{Nn \text{ ekv}} = \sqrt{\frac{1}{\sum \frac{1}{Q_N^2}}}$$

$$Q_{Nn \text{ ekv}} = \sum Q_N$$



Obr. 2.2.24 Základní uspořádání prvků v obvodu

$$Q_{Nn\text{ ekv1}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{8\,440^2} + \frac{1}{2\,400^2} + \frac{3}{3\,700^2} + \frac{1}{2\,280^2} + \frac{1}{4\,000^2}}} \quad (41)$$

$$Q_{Nn\text{ ekv1}} = 1\,229 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1},$$

$$Q_{Nn\text{ ekv2}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{8\,440^2} + \frac{1}{7\,000^2} + \frac{3}{3\,700^2} + \frac{1}{2\,280^2} + \frac{1}{4\,000^2}}} \quad (42)$$

$$Q_{Nn\text{ ekv2}} = 1\,402 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1},$$

$$Q_{Nn\text{ ekv}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{11\,000^2} + \frac{2}{14\,960^2} + \frac{1}{4\,500^2} + \frac{1}{7\,320^2} + \frac{1}{2\,100^2} + \frac{1}{(1\,229 + 1\,402)^2}}} \quad (43)$$

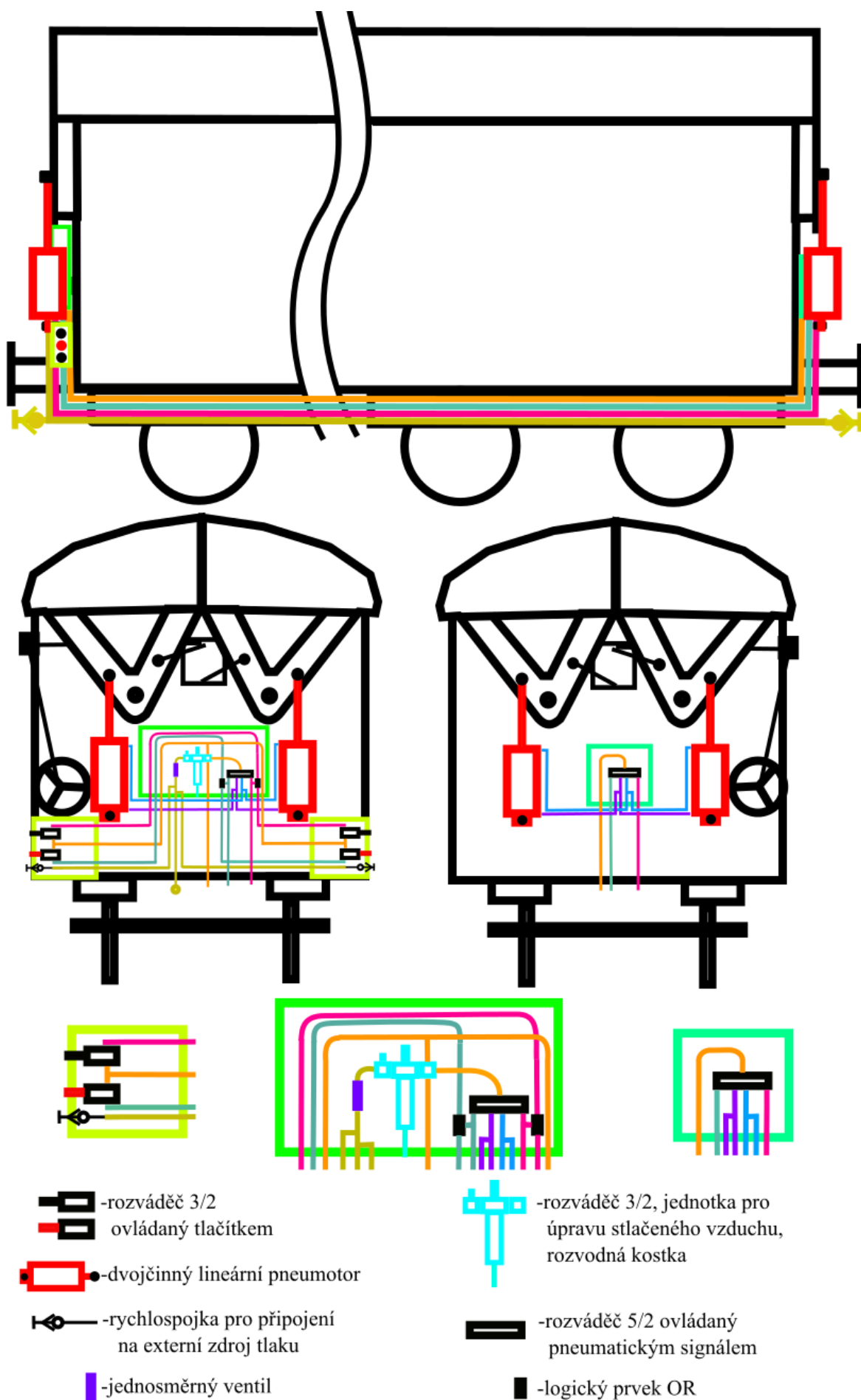
$$Q_{Nn\text{ ekv}} = 1\,480 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1},$$

$$Q_{Nn\text{ ekv}} > 4 \cdot Q_{Mn\text{ t min}},$$

$$1\,480 > 4 \cdot 313,5 = 1254 \quad \gg \quad \text{podmínka splněna, obvod vyhovuje podmínce} \\ \text{otevření a zavření střechy do jedné minuty.}$$

j) Základní uspořádání hlavních komponentů na vagonu


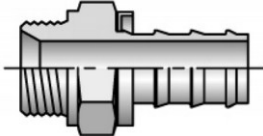
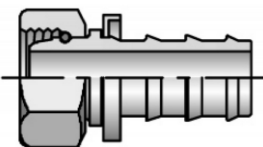
Navrhuji umístit hlavní pneumatické prvky ve skříni umístěné na čele vagonu obrázek 2.2.25. Dále ovládací rozváděče umístit v menších skřínkách včetně přípojky na externí zdroj vzduchu. Tuto skříňku by bylo vhodné opatřit dvířky tak, aby byla ovládací tlačítka krytá proti povětrnostním vlivům. Dále by bylo vhodné dvířka opatřit zámkem na speciálně tvarovaný klíč například čtyřhranný, tak aby se střechou mohla manipulovat pouze pověřená osoba. Upevnění kratších hadic pomocí upínek, dlouhé hadice by bylo možné uchytit pod vagonem do drátěného kabelového žlabu. Druhý hlavní rozváděč je nutné umístit do menší skříně na druhou stranu vagonu. Lineární pneumotor je ukotven v čepech, na jedné straně ke konstrukci vagonu a na druhé straně ke křídlu střechy. Dle konstrukčního řešení by mohla být použita na tělo válce patka s bronzovým pouzdrem tip KL9135 a na pístnici sférické oko tip KL9132.

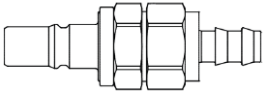
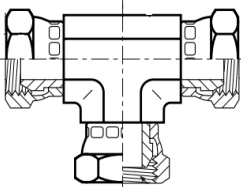
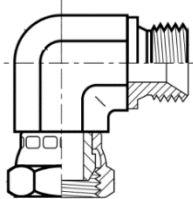
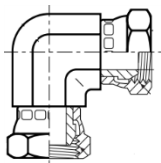
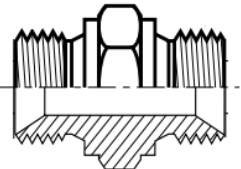
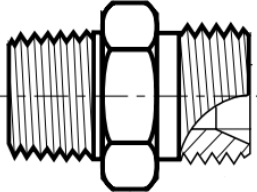
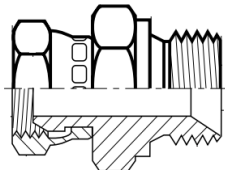


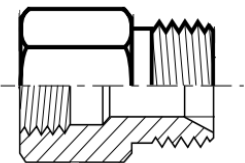


Obr. 2.2.25 Uspořádání prvků na vagoně

k) Návrh propojení a upevnění jednotlivých komponentů na vagonu

K propojení jednotlivých prvků na vagoně jsem použil prvky z výrobního programu Parker Hannifin. Jedná se o opletené hadice, hadicové koncovky Push-lok, různé typy kolen, šroubení a T-kusů.

Prvek: Obrázek:	Objednávací kód:	Informace:	Počet kusů: (Označená na výkrese):
Hadice 	801-10-BLK-RL	$\phi d=15,9$ mm, $\phi D=23$ mm	1x2 m, 2x3 m
	801-8-BLK-RL	$\phi d=12,7$ mm, $\phi D=19,8$ mm	1x0,3 m, 1x20 m
	801-6-BLK-RL	$\phi d=9,5$ mm, $\phi D=15,9$ mm	8x2 m
	801-4-BLK-RL	$\phi d=6,4$ mm,	4x3 m, 1x20 m
	801-4-BLU-RL	$\phi D=12,7$ mm	2x3 m, 1x20 m
Hadicová koncovka 	3D982-8-10	$\phi d=15,9$ mm, šroubení G5/8	3 (1)
	3D982-8-8	$\phi d=12,7$ mm, šroubení G1/2	2 (9)
	3D982-4-6	$\phi d=9,5$ mm, šroubení G1/4	16 (16)
	3D982-4-4	$\phi d=6,4$ mm, šroubení G1/4	14 (19)
Hadicová koncovka 	39282-8-8	$\phi d=12,7$ mm, šroubení G1/2	2 (10)
	39282-4-4	$\phi d=6,4$ mm, šroubení G1/4	2 (24)

Rychlospojka pro připojení na externí vzduch 	7012SBTP16REX	$\phi d=16\text{ mm}$	2 (0V3, 0V4)
T-kus- matice 	10J6MK4S	G5/8	2 (2)
	4J6MK4S	G1/4	9 (14)
Koleno 	10C6MK4S	G5/8	2 (4)
	8C6MK4S	G1/2	5 (6)
	4C6MK4S	G1/4	4 (15)
	16C6MK4S	G1	8 (18)
Koleno 	4E6MK4S	G1/4	4 (22)
Šroubové propojení 	10HMK4S	G5/8, G5/8	1 (3)
	8-4HMK4S	G1/2, G1/4	6 (11)
Šroubové propojení 	10F3MK4S	R1/2, G5/8	1 (5)
	8-8F3MK4S	R1/2, G1/2	1 (7)
	4-4F3MK4S	R1/4, G1/4	7 (13)
	4F3MK4S	R1/8, G1/4	12 (20)
Šroubové připojení 	8-8F6MK4S	G1/2	2 (8)
	4-4F6MK4S	G1/4	4 (23)

Redukce 	16-4G4MK4S	G1/4, G1	8 (17)
Tlumič hluku 	0670 00 21	G1/2	4 (12)
	0670 00 10	G1/8	4 (21)
Spojovací část jednotky pro úpravu vzduchu 	P32KA00MT		2 (25)

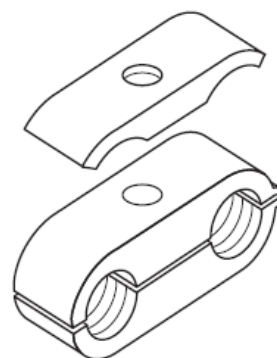
Tab. 2.2.4 Tabulka použitých hadic, hadicových koncovek, šroubení, kolen a T-kusů, obrázky a informace získané z literatury [11, 12, 13, 14, 16]

Upevnění prvků na vagon

Hlavní prvky se kotví pomocí šroubů přímo ke skříni. Jednotku pro úpravu vzduchu je možné ukotvit pomocí spojovací části P32KA00MT obr. 2.2.26 ve které jsou otvory pro šrouby. Hadice je možné ukotvit pomocí upínek obr. 2.2.27 přímo na vagon. Dlouhá vedení je možné ukotvit pomocí drátěného kabelového žlabu.



Obr. 2.2.26 Spojovací část jednotky pro úpravu vzduchu [11]



Obr. 2.2.27 Potrubní upínka [12]

2.3 Návrh kyvného pohonu

Dle požadavků zadavatele je vypočtený celkový krouticí moment dle rovnice 2 28 157 N.m pro zvednutí střechy. Tento moment bude rozdělen mezi čtyři kyvné pneumatory. Kyvné pneumatory budou umístěny na křídlech střechy. Úhel kyvu cca 82°.

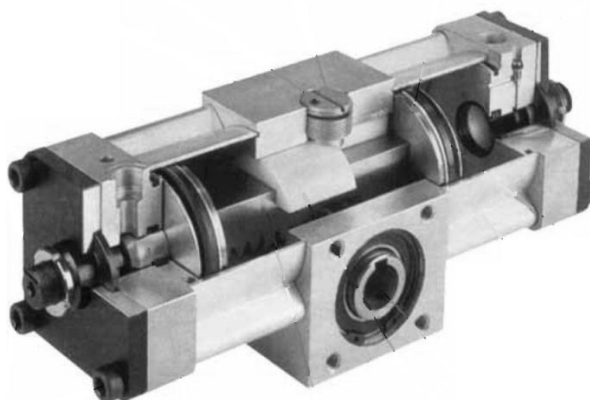
- Moment od tíhy břemene na jeden pneumatore

$$M_1 = \frac{M}{z} = \frac{28\,157}{4} = 7\,039,25 \text{ N}, \quad (44)$$

kde: z... počet pneumatoreů,

Teoretický moment							
ϕ pístu [mm]	Modul pastorku	ϕ Pm	Moment [N.m]				
			2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	10 bar
32	1.5	20	2.4	4.8	7.2	9.6	12
40	2	40	5.0	10.0	15.0	20.0	25
50	2	40	8.0	16.0	24.0	32.0	40
63	3	54	17.0	34.0	51.0	68.0	85
80	3	54	27.0	54.0	81.0	108.0	135
100	5	75	58.0	116.0	174.0	232.0	290
125	5	75	92.0	184.0	276.0	368.0	460

Obr. 2.3.1 Tabulka teoretických momentů při různých tlacích [18]



Obr. 2.3.2 Řez kyvným pneumotorem série VRS/VRA [18]

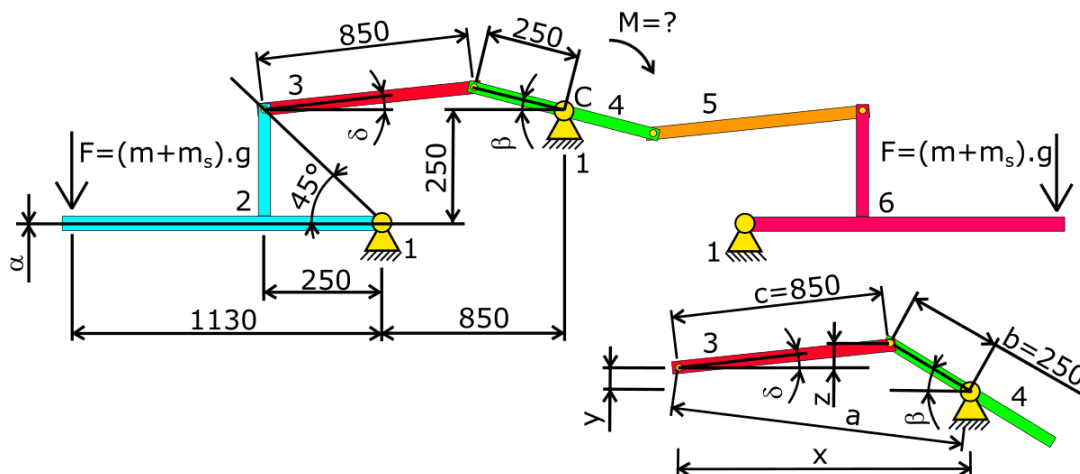
Tento moment kyvné pneumatory nemohou vyvodit. Pneumotor s největším dosažitelným momentem, který jsem vyhledal je pneumatore série VRS/VRA. Tento pneumatore dosahuje teoretického krouticího momentu 460 N.m při tlaku 1 MPa. Tento moment je nedostačující. Není možné variantu s kyvným pneumotorem vyřešit.

2.4 Návrh rotačního pohonu

Podle požadavku zadavatele bude potřeba dimenzovat pohon na zvednutí střechy. Hmotnosti jednoho křídla střechy je 1 000 kg a také je nutné uvažovat se zatížením způsobené sněhem. Váha sněhu na jedno křídlo střechy je stanovena na 270 kg. Uhel kyvu střechy je 82° . Otáčky pneumotoru jsou stanoveny na 50 min^{-1} .

a) Výpočet potřebného vyvozeného momentu pneumotorem

Pro stanovení celkového momentu je nutné provést uvolnění všech částí pákového mechanismu. Pro každou část je nutné provést uvolnění vazeb a ty nahradit reakcemi. Pro každou část je možné napsat dvě silové a jednu momentovou rovnici. Do výpočtu nejsou zahrnuty síly vyvozené pružinami ani čepové tření. Pro zjednodušení výpočtu uvažují, že moment vyvozený pružinami pokryje veškeré pasivní odpory. Tímto krokem se značně zjednoduší celý výpočet. Mechanismus jsem rozdělil na levou a pravou část. Pro tyto dvě části se spočítá potřebný moment pro zvednutí jednoho křídla střechy. Vypočtené momenty se následně sečtou. Tento moment bude poté snížen v závislosti na převodovém poměru převodu mezi pneumotorem a bodem C na obrázku 2.4.1.



Obr. 2.4.1 Schéma mechanismu

- Výpočet potřebných úhlu

$$\beta = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}\right) + \arctg\left(\frac{y}{x}\right) \quad (45)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{a^2 + 0,25^2 - 0,85^2}{2 \cdot a \cdot 0,25}\right) + \arctg\left(\frac{\sin(45 + \alpha) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ} - 0,25}{0,85 + \cos(45 + \alpha) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}}\right),$$

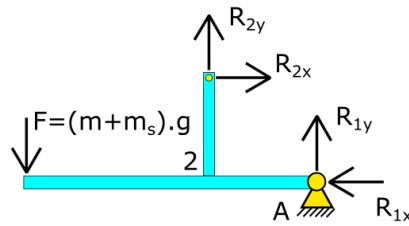
$$a = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (46)$$

$$a = \sqrt{\left(0,85 + \cos(45 + \alpha) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}\right)^2 + \left(\sin(45 + \alpha) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ} - 0,25\right)^2},$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{z}{c}\right) = \arcsin\left(\frac{0,25 + \sin\beta \cdot 0,25 - \sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}}{0,85}\right), \quad (47)$$

kde: a, b, c, x, y, z, \dots rozměry v pákovém mechanismu,
 $\alpha, \beta, \delta, \dots$ úhly v pákovém mechanismu.

- Postupné uvolnění levé části

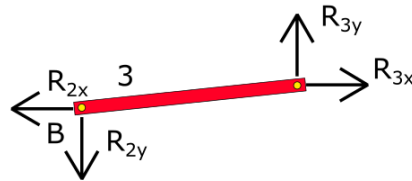


Obr. 2.4.2 Uvolnění tělesa 2

$$\sum F_x: 0 = R_{2x} - R_{1x}, \quad (48)$$

$$\sum F_y: 0 = -F + R_{2y} + R_{1y}, \quad (49)$$

$$M_A: 0 = -F \cdot 1,13 \cdot \cos \alpha + R_{2y} \cdot \cos(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ} + R_{2x} \cdot \sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}. \quad (50)$$

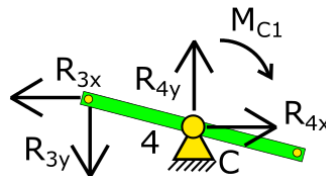


Obr. 2.4.3 Uvolnění tělesa 3

$$\sum F_x: 0 = R_{3x} - R_{2x}, \quad (51)$$

$$\sum F_y: 0 = R_{3y} - R_{2y}, \quad (52)$$

$$M_B: 0 = R_{3x} \cdot \sin \delta \cdot 0,85 - R_{3y} \cdot \cos \delta \cdot 0,85. \quad (53)$$



Obr. 2.4.4 Uvolnění tělesa 4

$$\sum F_x: 0 = R_{4x} - R_{3x}, \quad (54)$$

$$\sum F_y: 0 = R_{4y} - R_{3y}, \quad (55)$$

$$M_C: 0 = M_{C1} - R_{3y} \cdot \cos \beta \cdot 0,25 - R_{3x} \cdot \sin \beta \cdot 0,25. \quad (56)$$

- Úprava rovnic pro zadání do programu Excel

úprava rovnice 50– osamostatnění R_{2x}

$$0 = \frac{-F \cdot 1,13 \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} + \frac{R_{2y} \cdot \cos(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} + R_{2x}, \quad (57)$$

úprava rovnice 53– osamostatnění R_{3x}

$$R_{3x} = \frac{R_{3y} \cdot \cos\delta \cdot 0,85}{\sin\delta \cdot 0,85}, \quad (58)$$

úprava rovnic 51 a 52– vyjádření R_{3x} , R_{3y}

$$R_{3x} = R_{2x}, \quad (59)$$

$$R_{3y} = R_{2y}, \quad (60)$$

do upravené rovnice 57 je vložena upravená rovnice 58 za proměnou R_{2x} , která se rovná podle rovnice 59 s proměnou R_{3x} . V rovnici 58 je dále nahrazena proměnná R_{3y} proměnou R_{2y} dle vzorce 60.

$$0 = \frac{-F \cdot 1,13 \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} + \frac{R_{2y} \cdot \cos(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} + \frac{R_{2y} \cdot \cos\delta \cdot 0,85}{\sin\delta \cdot 0,85} \quad (61)$$

$$\frac{F \cdot 1,13 \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} = R_{2y} \cdot \left(\frac{\cos(\alpha + 45^\circ)}{\sin(\alpha + 45^\circ)} + \frac{\cos\delta}{\sin\delta} \right).$$

- Upravené rovnice pro vložení do Excelu

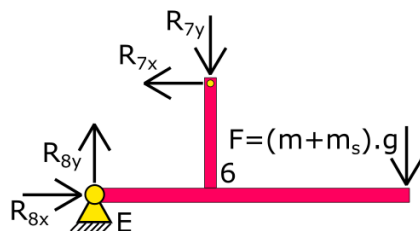
rovnice 62 je získána postupnou úpravou rovnice 61,
rovnice 63 je upravena z rovnice 56,

$$R_{2y} = R_{3y} = \frac{\frac{F \cdot 1,13 \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}}}{\left(\frac{\cos(\alpha + 45^\circ)}{\sin(\alpha + 45^\circ)} + \frac{\cos\delta}{\sin\delta} \right)}, \quad (62)$$

$$R_{3x} = \frac{R_{3y} \cdot \cos\delta \cdot 0,85}{\sin\delta \cdot 0,85}, \quad (58)$$

$$M_{C1} = R_{3y} \cdot \cos\beta \cdot 0,25 + R_{3x} \cdot \sin\beta \cdot 0,25. \quad (63)$$

- Postupné uvolnění pravé části

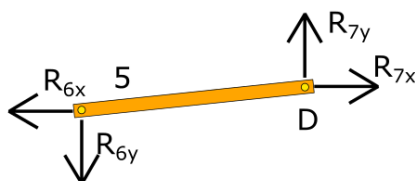


Obr. 2.4.5 Uvolnění tělesa 6

$$\sum F_x: 0 = R_{8x} - R_{7x}, \quad (64)$$

$$\sum F_y: 0 = -F + R_{8y} - R_{7y}, \quad (65)$$

$$M_E: 0 = F \cdot 1,13 \cdot \cos \alpha + R_{7y} \cdot \cos(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ} - R_{7x} \cdot \sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}, \quad (66)$$

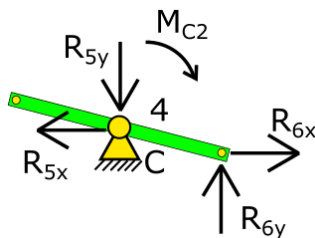


Obr. 2.4.6 Uvolnění tělesa 5

$$\sum F_x: 0 = R_{7x} - R_{6x}, \quad (67)$$

$$\sum F_y: 0 = R_{7y} - R_{6y}, \quad (68)$$

$$M_D: 0 = R_{6x} \cdot \sin \delta \cdot 0,85 - R_{6y} \cdot \cos \delta \cdot 0,85, \quad (69)$$



Obr. 2.4.7 Uvolnění tělesa 4

$$\sum F_x: 0 = R_{6x} - R_{5x}, \quad (70)$$

$$\sum F_y: 0 = R_{6y} - R_{5y}, \quad (71)$$

$$M_C: 0 = M_{C2} - R_{6y} \cdot \cos \beta \cdot 0,25 - R_{6x} \cdot \sin \beta \cdot 0,25, \quad (72)$$

- Úprava rovnic pro zadání do programu Excel

úprava rovnice 66– osamostatnění R_{7x}

$$0 = \frac{F \cdot 1,13 \cdot \cos \alpha}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} + \frac{R_{7y} \cdot \cos(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} - R_{7x}, \quad (73)$$

úprava rovnice 69– osamostatnění R_{6x}

$$R_{6x} = \frac{R_{6y} \cdot \cos\delta \cdot 0,85}{\sin\delta \cdot 0,85}, \quad (74)$$

úprava rovnic 67 a 68– vyjádření R_{6x}, R_{6y}

$$R_{6x} = R_{7x}, \quad (75)$$

$$R_{6y} = R_{7y}, \quad (76)$$

do upravené rovnice 73 je vložena upravená rovnice 74 za proměnou R_{7x} , která se rovná podle rovnice 75 s proměnou R_{6x} . V rovnici 74 je dále nahrazena proměnná R_{7y} proměnou R_{6y} dle vzorce 76.

$$0 = \frac{F \cdot 1,13 \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} + \frac{R_{7y} \cdot \cos(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} - \frac{R_{7y} \cdot \cos\delta \cdot 0,85}{\sin\delta \cdot 0,85}, \quad (77)$$

$$\frac{-F \cdot 1,13 \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}} = R_{7y} \cdot \left(\frac{\cos(\alpha + 45^\circ)}{\sin(\alpha + 45^\circ)} - \frac{\cos\delta}{\sin\delta} \right).$$

- Upravené rovnice pro vložení do Excelu

rovnice 78 je získána postupnou úpravou rovnice 77,

rovnice 79 je upravena z rovnice 72,

rovnice 80 - momenty M_{c1} a M_{c2} mají stejnou orientaci, proto je stačí sečíst,

$$R_{7y} = R_{6y} = \frac{\frac{-F \cdot 1,13 \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha + 45^\circ) \cdot \frac{0,25}{\cos 45^\circ}}}{\left(\frac{\cos(\alpha + 45^\circ)}{\sin(\alpha + 45^\circ)} - \frac{\cos\delta}{\sin\delta} \right)}, \quad (78)$$

$$R_{6x} = \frac{R_{6y} \cdot \cos\delta \cdot 0,85}{\sin\delta \cdot 0,85}, \quad (74)$$

$$M_{C2} = R_{6y} \cdot \cos\beta \cdot 0,25 + R_{6x} \cdot \sin\beta \cdot 0,25, \quad (79)$$

$$M_C = M_{C1} + M_{C2}. \quad (80)$$

- Výpočet pomocí programu Excel

Do programu jsem vložil potřebné rovnice pro výpočet celkového momentu. Výpočet je proveden pro různé úhly natočení střechy. Pro výpočet momentu přímo na pneumotoru M_M je potřeba vypočtený celkový moment M_C ještě podělit převodovým poměrem převodu.

Převodový poměr

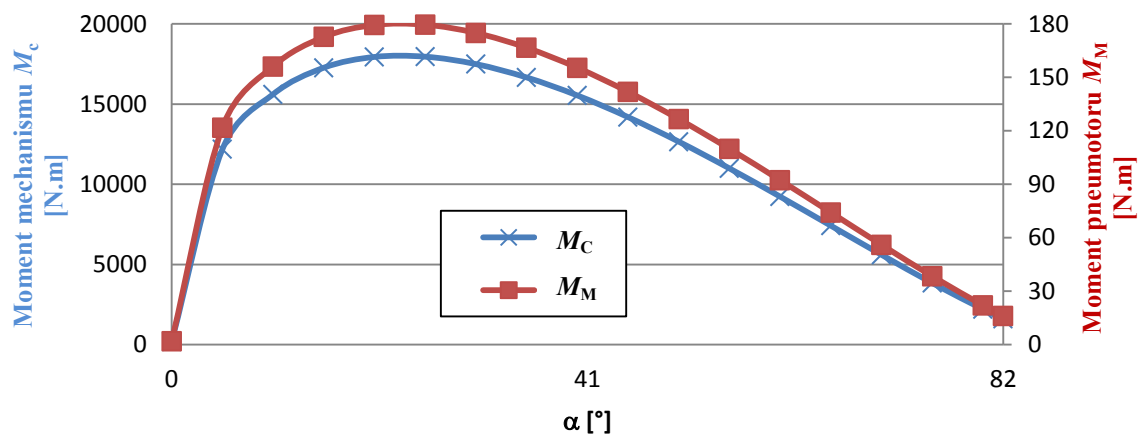
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{50}{\frac{180}{360}} = 100, \quad (81)$$

kde: n_1 ...hnací kolo, otáčky pneumotoru,

n_2 ... hnané kolo, maximální možný úhel kyvu $\beta=180^\circ$,

Úhel			Levá strana			Pravá strana			Moment	
α [°]	β [°]	δ [°]	R_{3y} [N]	R_{3x} [N]	M_{c1} [N.m]	R_{6y} [N]	R_{6x} [N]	M_{c2} [N.m]	M_c [N.m]	M_M [N.m]
0	0	0,1	86	56227	94	86	56398	95	189	2
5	23	5,1	4298	48176	5634	4994	55973	6546	12181	122
10	33	6,6	5143	44271	7169	6054	52111	8439	15609	156
15	42	7,6	5502	41237	7968	6420	48120	9298	17266	173
20	51	8,3	5637	38658	8359	6459	44298	9579	17937	179
25	58	8,8	5641	36352	8469	6316	40704	9483	17953	180
30	66	9,2	5555	34213	8364	6060	37325	9125	17489	175
35	73	9,5	5399	32169	8083	5729	34132	8576	16658	167
40	80	9,8	5184	30167	7652	5342	31087	7886	15538	155
45	87	9,9	4913	28157	7093	4913	28157	7093	14187	142
50	94	10,0	4587	26095	6425	4448	25304	6230	12655	127
55	101	10,0	4203	23933	5664	3951	22495	5324	10987	110
60	108	9,9	3759	21619	4828	3424	19695	4398	9226	92
65	116	9,7	3249	19091	3937	2870	16864	3478	7415	74
70	124	9,3	2669	16271	3014	2289	13959	2586	5600	56
75	132	8,8	2016	13064	2090	1686	10927	1748	3839	38
80	141	7,9	1298	9350	1210	1068	7694	996	2205	22
82	145	7,4	999	7692	885	821	6321	727	1612	16

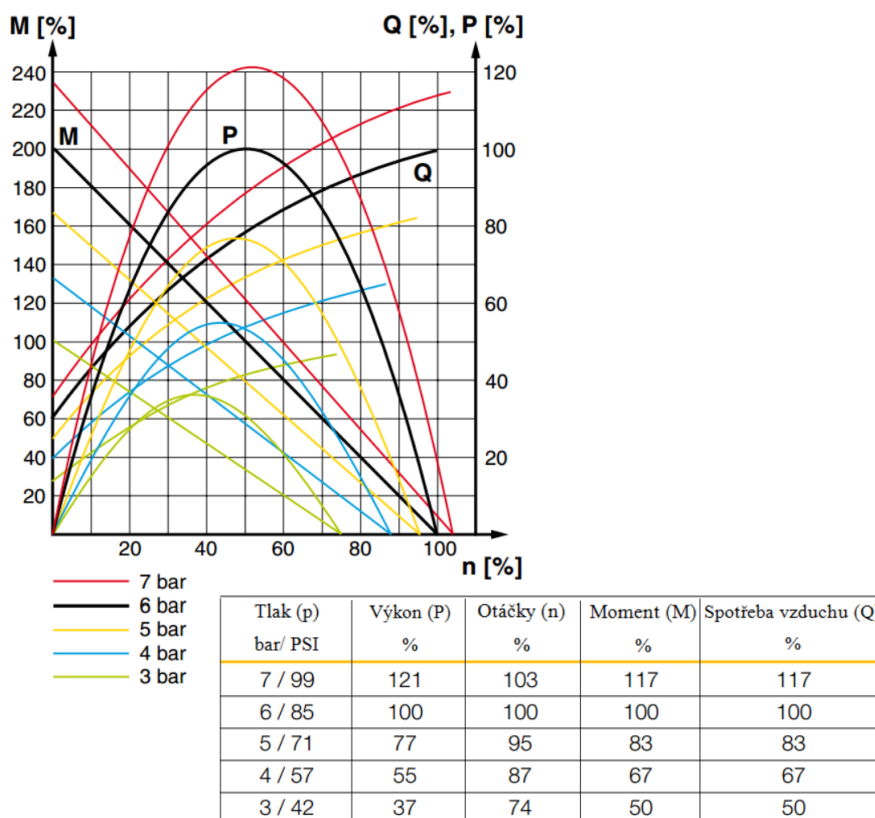
Tab. 2.4.1 Vypočtené hodnoty Excelem



Obr 2.4.8 Závislost momentu na úhlu natočení střechy

b) Volba rotačního pneumotru

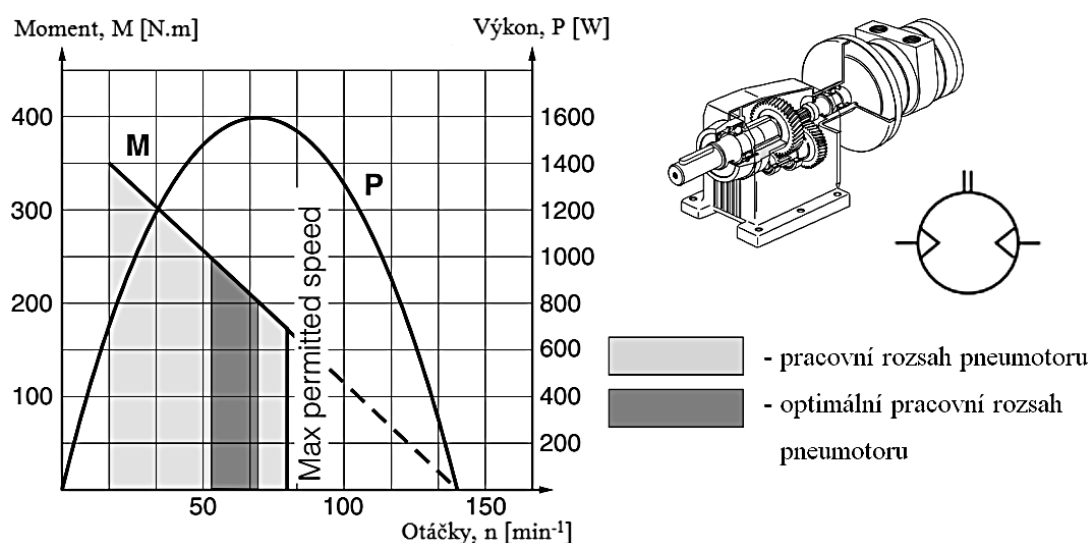
Maximální moment na pneumotoru je 180 N.m. Na tento moment je nutné dimenzovat pohon. Z charakteristiky na obrázku 2.4.9 je zřejmé, že se moment snižuje s otáčkami a dále se mění i se změnou tlaku. Pro přepoččet slouží tabulka na obrázku 2.4.9. Hodnotu momentu, kterou výrobce Parker Hannifin uvádí při tlaku 0,6 MPa stačí převést pomocí trojčlenky na hodnotu při nejnižším pracovním tlaku 0,4 MPa.



Obr. 2.4.9 Graf průběh momentu, výkonu a průtoku pneumotru při různých tlacích, přepočtová tabulka [19]

Dle katalogu firmy Parker Hannifin volím pneumotor P1V-A160E0008.

P1V-A160E0008••



Obr. 2.4.10 Graf průběh momentu, výkonu pro různé otáčky a tlak 0,6 MPa [19]

- Výpočet dosažitelného momentu při otáčkách 50 min^{-1} a tlaku 0,4 MPa

$$M = \frac{250 \cdot 67}{100} = 167,5 \text{ N.m} , \quad (82)$$

kde: 250...moment odečtený z obrázku 2.4.9 při otáčkách 50 min^{-1} ,

67... přepočtový parametr na tlak 0,4 MPa odečtený z obrázku 2.4.9.

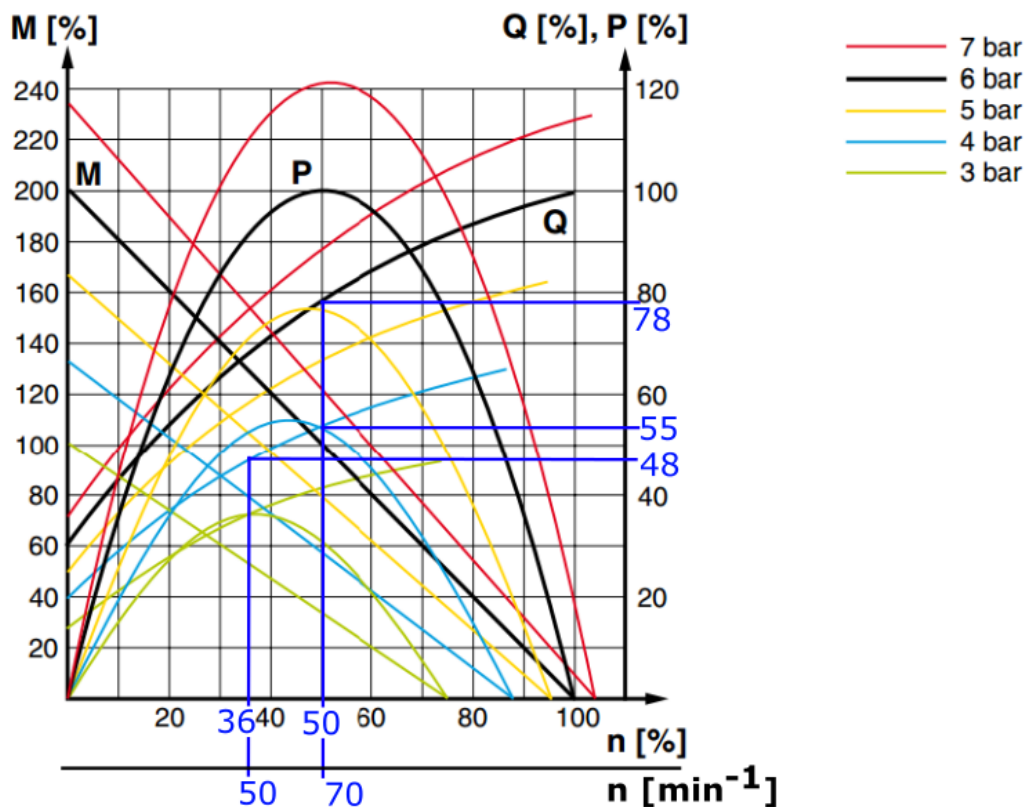
Pneumotor nedosahuje hodnoty maximálního krouticího momentu M_M , ale velice se mu blíží. Jelikož tento moment je potřebný pouze velice krátkou dobu, není nutné volit větší pneumotor. Z obrázku 2.4.10 je zřejmé že při snížení otáček se zvýší moment a naopak, proto když nebude pneumotor schopen překonat zatížení při otáčkách 50 min^{-1} jeho otáčky se sníží a vzroste tedy moment a pak už bude pneumotor schopen moment M_M překonat. Ztrátu času, kterou způsobí snížení otáček, naopak dorovná v oblasti nevyužití maximálního momentu, kdy se jeho otáčky zvýší.

c) Výpočet spotřeby vzduchu

Potřebný průtok stlačeného vzduchu pro pneumotor je možné určit z literatury výrobce. Průtok pro tento pneumotor $32 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je uveden pro otáčky při kterých pneumotor dosahuje maximálního výkonu a při tlaku 0,6 MPa. Pneumotor dosahuje maximálního výkonu při jmenovitých otáčkách 70 min^{-1} . Průtok je nutné přepočítat na pracovní podmínky.

- Průtok potřebný pro pneumotor při otáčkách 50 min^{-1} a atmosférickém tlaku

Průtok je nutné přepočítat na pracovní otáčky 50 min^{-1} a také na atmosférický tlak. Pro přepočet je možné použít korekční diagram na obrázku 2.4.11 a pomocí trojčlenky dopočítat potřebný průtok při pracovních otáčkách a pracovním tlaku 0,4 MPa.



Obr. 2.4.11 Korekční diagram [19]

Výpočet procent otáček

$$n_{50} = \frac{50 \cdot 50}{70} = 35,7 \approx 36 \%. \quad (83)$$

Přepočet průtoku při maximálním výkonu z tlaku 0,6 MPa na pracovní tlak 0,4 MPa

$$Q_{70} = \frac{32}{1000} \cdot \frac{55}{78} = 22,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 22,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}. \quad (84)$$

Přepočet průtoku z otáček 70 min^{-1} na pracovní otáčky 50 min^{-1}

$$Q_{50} = \frac{22,6 \cdot 10^{-3} \cdot 48}{55} = 19,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 19,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}. \quad (85)$$

Přepočet průtoku na průtok při atmosférickém tlaku

$$Q_M = Q_{50} \cdot \frac{p_n}{p_{abs}} = \frac{19,7}{1000} \cdot \frac{0,1}{0,5} = 3,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 236 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}, \quad (86)$$

kde: $p_{abs} = p + p_n = 0,4 + 0,1 = 0,5 \text{ MPa}$.

- Průtok přepočtený na technické normální podmínky za min. pracovní teploty

$t_{min} = -25 \text{ °C} \dots T_{min} = 248,15 \text{ K}$,

$$Q_{Mn \text{ t min}} = Q_M \cdot \frac{p_{1abs}}{p_n} \cdot \frac{T_N}{T_{min}} = 3,94 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,5}{0,1} \cdot \frac{293,15}{248,15} \quad (87)$$

$$Q_{Mn \text{ t min}} = 23,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3_N \cdot \text{s}^{-1} = 1\,397 \text{ dm}^3_N \cdot \text{min}^{-1},$$

kde: technické normální podmínky: $T_N = 293,15 \text{ K}$, $p_n = 0,1 \text{ MPa}$,

$p_{1abs} = p + p_n = 0,4 + 0,1 = 0,5 \text{ MPa}$.

- Průtok přepočtený na technické normální podmínky za max. pracovní teploty

$t_{max} = 60 \text{ °C} \dots T_{max} = 333,15 \text{ K}$,

$$Q_{Mn \text{ t max}} = Q_M \cdot \frac{p_{1abs}}{p_n} \cdot \frac{T_N}{T_{max}} = 3,94 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,5}{0,1} \cdot \frac{293,15}{333,15} \quad (88)$$

$$Q_{Mn \text{ t max}} = 17,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3_N \cdot \text{s}^{-1} = 1\,040 \text{ dm}^3_N \cdot \text{min}^{-1}.$$

Spotřeba vzduchu bude největší při nejnižší pracovní teplotě. Pro pneumotor je potřený průtok přepočtený na normální podmínky $1\,397 \text{ dm}^3_N \cdot \text{min}^{-1}$.

d) Návrh světlosti potrubí

Postup výpočtu je stejný jako při předchozím návrhu lineárního pohonu. Pracovní vedení bude mít stejný průměr, protože se nikde nevětví.

Průtok stlačeného vzduchu pro pneumotor dle rovnice 86: $Q_M = 3,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

- Průměr pracovního vedení

$$d_p = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q_M}{v}} = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{3,94 \cdot 10^{-3} \cdot 3\,600}{15}} = 18,3 \text{ mm}, \quad (89)$$

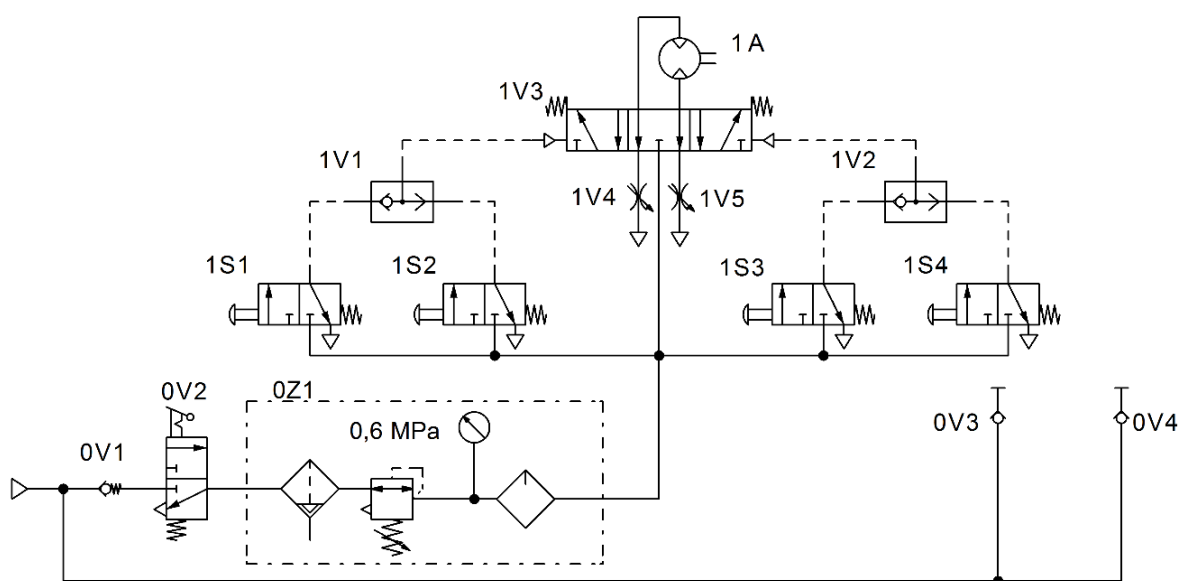
kde: $v \dots$ rychlost v potrubí volím $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Volím vnitřní průměr hadice: - pracovní vedení 19 mm,

- signální vedení 6 mm.

e) Návrh pneumatického obvodu

Stejně jako v předchozím případě musí pneumatický obvod zabezpečit otevření a zavření střechy z obou stran vagonu. Obvod musí umožnit připojení vagonu na externí zdroj vzduchu. Tlumení dojezdu střechy do koncových poloh je řešeno pryžovými dorazy. Aretace střechy je zabezpečena pomocí pružin. Pro obvod s rotačním pneumotorem lamelovým je nutné použít rozváděč se třemi polohami. Pneumotor vykazuje průtokové ztráty při nulových otáčkách, proto nemůže být trvale tlakován. Pro pohyb střechy bude nutné držet tlačítko. Podrobné pneumatické schéma je uvedeno v příloze PŘÍLOHA-B a kusovník jednotlivých prvků v příloze PŘÍLOHA-B-SP.



Obr. 2.4.12 Pneumatický obvod pro obvod s rotačním pneumotorem

0V1- jednosměrný ventil,

0V2- rozváděč 3/2, ovládaný otočnou pákou s aretací,

0Z1- jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu s automatickým odlučovačem kondenzátu a přimazáváním vzduchu,

0V3; 0V4- externí přípojky stlačeného vzduchu,

1S1; 1S2- rozváděč 3/2 ovládaný tlačítkem, monostabilní, rozváděč pro zavírání střechy,

1S3; 1S4- rozváděč 3/2 ovládaný tlačítkem, monostabilní, rozváděč pro otevírání střechy,

1V1; 1V2- logický prvek OR,

1V3 - rozváděč 5/3 ovládaný pneumatickým signálem, monostabilní,

1V4; 1V5- škrticí ventily umístěné na výstupu z rozváděče,

1A- rotační pneumotor.

f) Specifikace pneumatických prvků včetně propojení

Dle zadání je nutné všechny prvky volit z katalogu firmy Parker Hannifin.

Hadice- pro propojení jednotlivých komponent volím hadicový systém Push-Lok.

Vedení:	pracovní	signální
Objednávací kód:	801-12	801-4
Maximální tlak:	2,1 MPa	2,4 MPa
Vnitřní průměr:	19,1 mm	6,4 mm
Vnější průměr:	26,2 mm	12,7 mm
Pracovní teplota:	-40~70 °C	-40~70 °C
Minimální úhel ohybu:	180 mm	65 mm

Tab. 2.4.2 Použité hadice v obvodu

Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu s automatickým odlučovačem kondenzátu a přimazáváním vzduchu 0Z1- nejprve je vzduch zbaven nečistot i vlhkosti, následně redukční ventil sníží tlak na požadovanou hodnotu a v poslední fázi je vzduchu přimazán. Jednotka se skládá z jednotlivých komponentů, ty budou dále specifikovány.

Filtr s automatickým odlučovačem kondenzátu

Objednávací kód: P33FA14ESAN.

Maximální tlak: 1,7 MPa.

Filtrační schopnost: 5 μ m,

(dostačující pro všechny prvky).

Šroubení: G 1/2.

Propustnost: 2 400 dm³_N·min⁻¹.

Pracovní teplota: -25~65,5°C.

Odvod kondenzátu: automaticky.

Počet kusů: 1.



Obr. 2.4.13 Jednotka pro úpravu vzduchu [11]

Redukční ventil

Objednávací kód: P33RA14BNGP.

Maximální tlak: 2 MPa.

Maximální redukovaný tlak: 0,8 MPa.

Šroubení: G 1/2.

Propustnost: 6 600 dm³_N·min⁻¹.

Pracovní teplota: -25~65,5°C.

Počet kusů: 1.



Obr. 2.4.14 Redukční ventil [11]

Maznice

Objednávací kód: P33LA14LSNN.

Maximální tlak: 1,7 MPa.

Šroubení: G 1/2.

Propustnost: $3\,120\text{ dm}^3_{\text{N}}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pracovní teplota: $-10\sim 65,5^{\circ}\text{C}$.

Velikost nádoby: 181 cm^3 .

Počet kusů: 1.

Rotační pneumotor potřebuje pro svou dlouhou životnost přimazávaný vzduch. Jednotka je schopná pracovat až od teploty -10°C . Při nižší teplotě nebude pneumotor přimazáván nebo jen omezeně. Pneumotor je možné krátkodobě provozovat i bez přimazávání.



Obr. 2.4.15 Jednotka pro přimazávání vzduchu [11]

Rozváděč 3/2, ovládaný otočnou pákou s aretací 0/2- slouží pro odpojení obvodu od stlačeného vzduchu a následně i obvod odvzdušnění tak, aby nedošlo k úrazu při servisní manipulaci s obvodem.

Objednávací kód: P33VB14LBNN.

Maximální tlak: 1,7 MPa.

Šroubení: vstup, výstup G 1/2.

Propustnost: $15\,900\text{ dm}^3_{\text{N}}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pracovní teplota: $-40\sim 80^{\circ}\text{C}$.

Počet kusů: 1.



Obr. 2.4.16 Rozváděč 3/2, ovládaný pákou s aretací [11]

Rozváděč 5/3 ovládaný pneumatickým signálem, monostabilní 1/3- v obvodu slouží pro ovládání pohybu pneumotoru. Řízení rozváděče je provedeno pomocí externě přivedeného tlakového signálu. Robustní rozváděč řady Viking Xtreme je určený pro velký rozsah provozní teploty.

Objednávací kód: P2LCX813PP.

Maximální tlak: 1,6 MPa.

Šroubení: cesta:1,2,3,4,5: G3/8,
cesta: 12,14: G1/8.

Propustnost: $4\,320\text{ dm}^3_{\text{N}}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pracovní teplota: $-40\sim 60^{\circ}\text{C}$.

Počet kusů: 1.



Obr. 2.4.17 Rozváděč 5/3 Viking Xtreme [13]

Rotační lamelový pneumotor 1A- reverzační lamelový pneumotor s převodovkou pro snížení otáček. Doporučené přimazávání 1~2 kapky [drop] na metr krychlový. Převodovka má svou olejovou lázeň.

Objednávací kód: P1V-A160E0008V6.

Maximální tlak: 0,7 MPa.

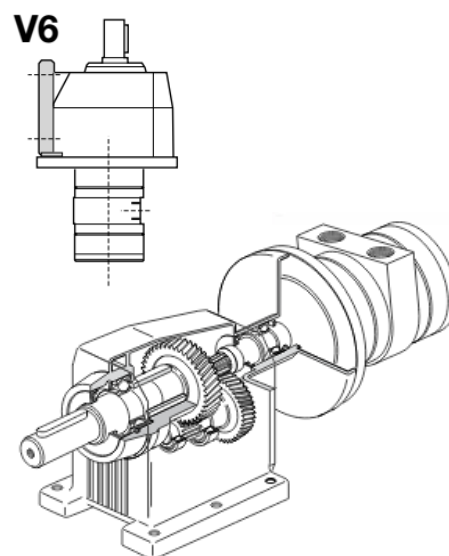
Šroubení: G1/2.

Hlučnost bez tlumiče: 120 dB.

Hlučnost s tlumičem: 97,5 dB.

Pracovní teplota: $-20\sim 110^{\circ}\text{C}$ – po konzultaci se zadavatelem je možné tento pneumotor použít, i když nesplňuje podmínku minimální pracovní teploty -25°C .

Počet kusů: 1



Obr. 2.4.18 Rotační lamelový pneumotor [19]

Zbývající komponenty byly použity i u varianty s lineárním pneumotorem proto budou dále jen vypsány.

Název	Označení na výkrese	Počet kusů
jednosměrný ventil	0V1	1
rozdávěč 3/2 ovládaný tlačítkem, monostabilní, rozváděč pro zavírání střechy, tlačítko červené	1S1; 1S2	1;1
rozdávěč 3/2 ovládaný tlačítkem, monostabilní, rozváděč pro otevírání střechy, tlačítko černé	1S3; 1S4	1;1
logický prvek OR	1V1; 1V2	1;1
škrticí ventily umístěné na výstupu z rozváděče	1V4; 1V5	1;1

Tab. 2.4.3 Pneumatické prvky, blíže vyspecifikovány na straně 44 a 46

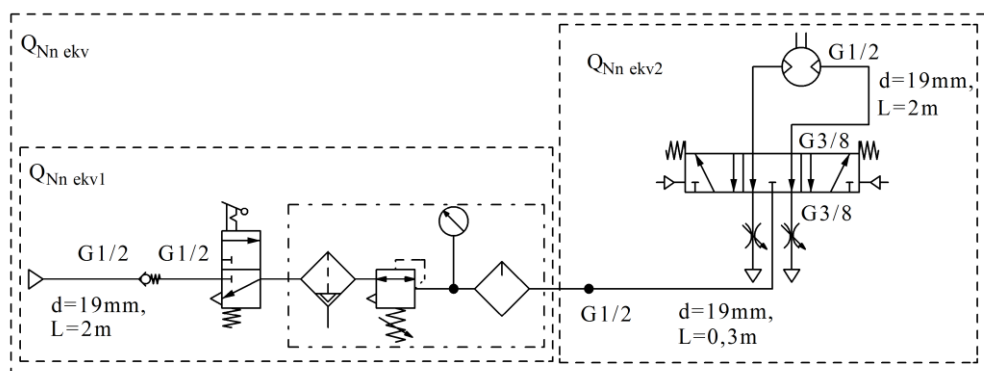
Pro všechny prvky je dostačující filtrace na 5 mikrometrů, vzduch je dle zadavatele v lokomotivě vysušen. Rotační pneumotor vyžaduje přimazávání vzduchu olejem, to zabezpečí maznice umístěná v obvodu, doporučené přimazávání 1~2 kapky [drop] na m³. Vzhledem k požadavku na práci při teplotě -25°C je třeba zajistit kvalitu vzduchu 3.2.5 dle normy ISO8573-1 (3- filtrace 5 μm, 2- tlakový rosný bod -40 °C, 5- max. koncentrace oleje 25 mg.m⁻³).

g) Kontrola propustnosti prvků

Kontrolu je nutné provést pro jeden pneumotor pro průtok přepočtený na normální podmínky 1 397 dm³_N.min⁻¹. Pro zjištění propustnosti, kterou výrobce u některých prvků neuvádí, jsem použil stejné podklady jako u kontroly propustnosti u lineárního pohonu.

Prvek	Propustnost prvku [dm _N ³ .min ⁻¹]	Počet kusů
Přívodní hadice φd=19 mm, L=2 m	13 000	1
Šroubení G1/2	14 960	2
Jednosměrný ventil G1/2	4 500	1
3/2 rozváděč	15 900	1
Filtr s automatickým odlučovačem kondenzátu	2 400	1
Redukční ventil	6 600	1
Maznice	3 120	1
Hadice k rozváděči φd=19 mm, L=0,3 m	18 000	1
Šroubení G1/2	14 960	2
Šroubení G3/8	5 850	2
5/2 rozváděč	4 320	1
Hadice k pneumotoru φd=19 mm, L=2 m	13 000	1

Tab. 2.4.4 Parametry propustnosti prvků

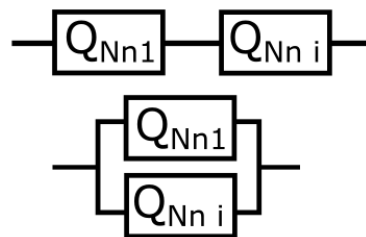


Obr. 2.4.19 Upřesnění pneumatických prvků

- Výpočet ekvivalentního průtoku [1]

$$Q_{Nn\text{ ekv}} = \sqrt{\frac{1}{\sum \frac{1}{Q_N^2}}}$$

$$Q_{Nn\text{ ekv}} = \sum Q_N$$



Obr. 2.4.20 Základní uspořádání prvků v obvodu

$$Q_{Nn\text{ ekv } 1} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{13\,000^2} + \frac{2}{14\,960^2} + \frac{1}{4\,500^2} + \frac{1}{15\,900^2} + \frac{1}{2\,400^2} + \frac{1}{6\,600^2} + \frac{1}{3\,120^2}}} \quad (90)$$

$$Q_{Nn\text{ ekv } 1} = 1\,650 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1},$$

$$Q_{Nn\text{ ekv } 2} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{18\,000^2} + \frac{2}{14\,960^2} + \frac{2}{5\,850^2} + \frac{1}{4\,320^2} + \frac{1}{13\,000^2}}} \quad (91)$$

$$Q_{Nn\text{ ekv } 2} = 2\,774 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1},$$

$$Q_{Nn\text{ ekv}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{Nn\text{ ekv } 1}^2} + \frac{1}{Q_{Nn\text{ ekv } 2}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{1\,650^2} + \frac{1}{2\,774^2}}} = 1\,418 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}, \quad (92)$$

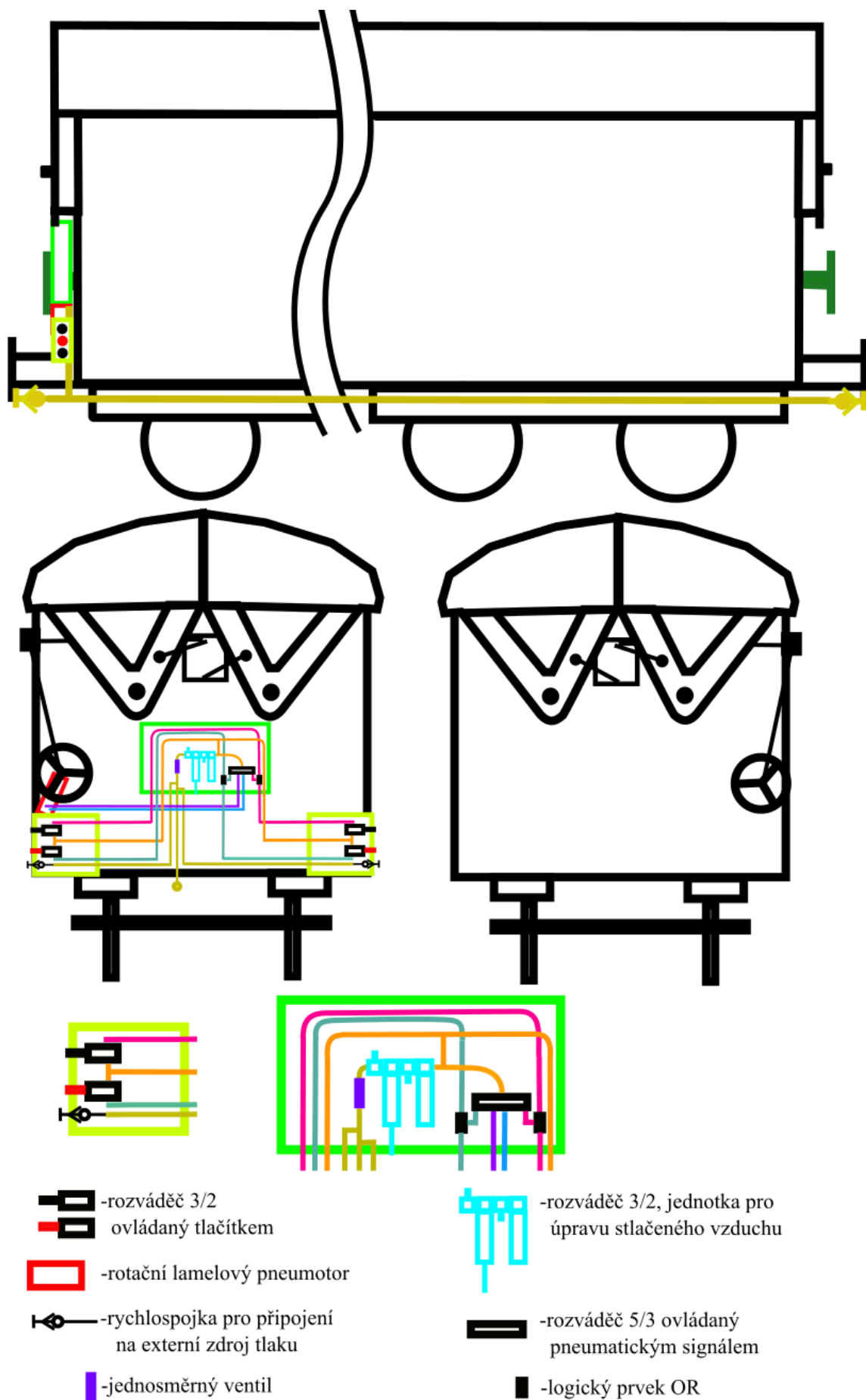
$$Q_{Nn\text{ ekv}} > Q_{Mn\text{ t min}},$$

$$1418 > 1\,397 \gg$$

podmínka splněna, obvod vyhovuje podmínce
otevření a zavření střechy do jedné minuty.

h) Základní uspořádání hlavních komponentů na vagonu


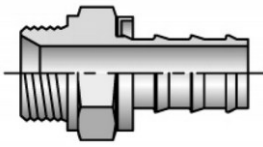
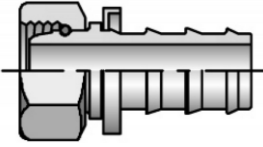
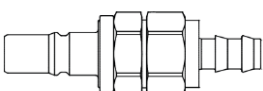
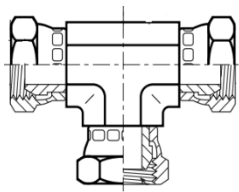
Navrhuji umístit hlavní pneumatické prvky ve skříni umístěné na čele vagonu obrázek 2.4.21. Dále ovládací rozváděče umístit v menších skříňkách včetně přípojky na externí zdroj vzduchu. Tuto skříňku by bylo vhodné opatřit dvířky tak, aby byla ovládací tlačítka krytá proti povětrnostním vlivům. Dále by bylo vhodné dvířka opatřit zámkem na speciálně tvarovaný klíč například čtyřhranný tak, aby se střechou mohla manipulovat pouze pověřená osoba. Upevnění kratších hadic pomocí upínek. Rotační pneumotor je ukotven ke konstrukci vagonu pomocí šroubů a hřídel je připojena k převodovce ručního pohonu.

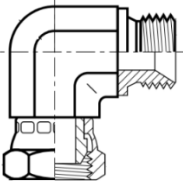
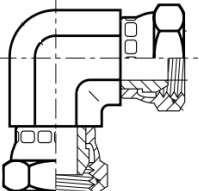
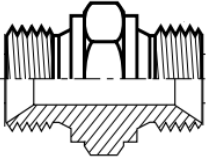
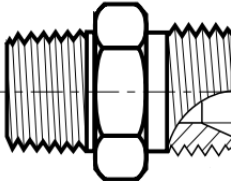
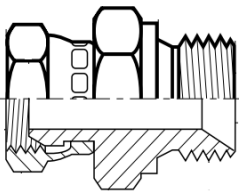



Obr. 2.4.21 Uspořádání prvků na vagoně

i) Návrh propojení a upevnění jednotlivých komponentů na vagonu

K propojení jednotlivých prvků na vagoně jsem použil prvky z výrobního programu Parker Hannifin. Jedná se o opletené hadice, hadicové koncovky Push-lok, různé typy kolen, šroubení a T-kusů.

Prvek: Obrázek:	Objednávací kód:	Informace:	Počet kusů: (Označená na výkrese):
Hadice 	801-12-BLK-RL	$\phi d=19,1$ mm, $\phi D=26,2$ mm	1x0,3 m, 3x2 m, 2x3 m
	801-4-BLK-RL 801-4-BLU-RL	$\phi d=6,4$ mm, $\phi D=12,7$ mm	4x3 m, 1x0,3 m 2x3 m, 1x0,3 m
Hadicová koncovka 	3D982-12-12	$\phi d=19,1$ mm, šroubení G3/4	6 (1)
	3D982-4-4	$\phi d=6,4$ mm, šroubení G1/4	16 (15)
Hadicová koncovka 	39282-12-12	$\phi d=19,1$ mm, šroubení G3/4	3 (8)
Rychlospojka pro připojení na externí vzduch 	7016SBTP19REX	$\phi d=19$ mm	2 (0V3, 0V4)
T-kus- matice 	12J6MK4S	G3/4	3 (2)
	4J6MK4S	G1/4	3 (14)

Kleno 	12C6MK4S	G3/4	2 (4)
	8C6MK4S	G1/2	3 (6)
Kleno 	12E6MK4S	G3/4	2 (12)
	4E6MK4S	G1/4	4 (18)
Šroubové propození 	12HMK4S	G3/4, G3/4	1 (3)
	12-4HMK4S	G3/4, G1/4	1 (13)
	12-6HMK4S	G3/4, G3/8	3 (9)
Šroubové propození 	12-8F3MK4S	R1/2, G3/4	4 (5)
	8-8F3MK4S	R1/2, G1/2	1 (7)
	8F3MK4S	R3/8, G1/2	2 (11)
	4F3MK4S	R1/8, G1/4	8 (16)
Šroubové připození 	4-6F6MK4S	G1/4, G3/8	2 (20)
	4-4F6MK4S	G1/4	6 (19)
Tlumič hluku 	0670 00 21	G1/2	2 (10)
	0670 00 10	G1/8	4 (17)
Spojovací část jednotky pro úpravu vzduchu Obr. 2.4.22	P33KA00MT		3 (21)

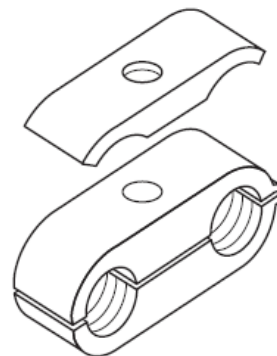
Tab. 2.4.5 Tabulka použitých hadic, hadicových koncovek, šroubení, klen a T-kusů,
obrázky a informace získané z literatury [11, 12, 13, 14, 16]

Upevnění prvků na vagon

Hlavní prvky se kotví pomocí šroubů přímo ke skříni. Jednotku pro úpravu vzduchu je možné ukotvit pomocí spojovací části P33KA00MT obr. 2.4.22 ve které jsou otvory pro šrouby. Hadice je možné ukotvit pomocí upínek obr. 2.4.23 přímo na vagon.



Obr. 2.4.22 Spojovací část jednotky pro úpravu vzduchu [11]



Obr. 2.4.23 Potrubní upínka [12]

2.5 Porovnání variant pohonů

Jednotlivé pohony je možné porovnat podle několika hledisek. Níže budou zhodnocena nejdůležitější hlediska pro vytvořené varianty.

Komfort ovládání: ve variantě s lineárním pohonem stačí tlačítko zmáčknout a střecha se otevře. U varianty s rotačním pneumotorem je nutné tlačítko držet. Nutnost držení tlačítka je možné odstranit použitím dalších pneumatických prvků a komplikovanějšího zapojení, bohužel by to vedlo k větší pravděpodobnosti poruchy. U pohonu s lineárním pneumotorem je možné zaměnit rozváděč za třípolohový monostabilní a pak bude nutné tlačítko také držet. Není možné jednoznačně určit která z variant je výhodnější, jestli držení nebo pouze zmáčknutí tlačítka. Každá má výhody i nevýhody bude spíše záležet na požadavku zákazníka. Držení tlačítka nutí zaměstnance zůstat na místě, kde mu nehrozí úraz způsobený pohybující se střechou. Zmáčknutí tlačítka dovoluje pracovníkovi vykovávat jinou práci.

Spotřeba vzduchu: pohony mají srovnatelnou spotřebu vzduchu.

Životnost: výrobce lineárního pneumotoru neuvádí životnost, ale bude velice vysoká. Rotační pneumotor dosahuje minimálně 1 000 hodin provozu při filtrování vzduchu na 5 μm a přimazávání vzduchu olejem. Pohony budou mít srovnatelnou životnost v dané aplikaci.

Počet komponentů: pohon s lineárním pneumotorem se skládá z více prvků v porovnání s pohonem, který využívá rotační pneumotor.

Snadnost montáže pohonu na vagon: pohon s rotačním pneumotorem bude mít snazší montáž na vagon. Veškerá montáž bude probíhat pouze na jednom čele vagonu, nebude nutné vést další hadice pod vagonem v porovnání s variantou s lineárním pneumotorem. U varianty s rotačním pneumotorem je potřeba nainstalovat pouze jeden pneumotor, u varianty s lineárním pneumotorem je potřeba nainstalovat čtyři pneumotory.

Údržba: rotační pneumotor potřebuje ke své dlouhé životnosti přimazávání vzduchu olejem je tedy nutné tento olej dle potřeby doplňovat.

Hlučnost: rotační pneumotor bude více hlučný v porovnání s lineárním.

2.6 Alternativní pohony

Použité pneumatory splňují podmínku práce při minimálním pracovním tlaku 0,4 MPa. Při změně minimálního pracovního tlaku by bylo možné použít výrazně menší pneumatory. Dále bude navržen ke každé variantě pohonů jeden alternativní pneumatore pracující s vyšším tlakem.

a) Přímočarý pneumatore

Dle rovnice 19 je vypočtená síla pro jeden pneumatore se zahrnutím síly pružin a čepového tření 27 461,5 N. Z řady pneumatoreů, které výrovce dodává je nejbližší menší pneumatore s průměrem pístu $D=250$ mm.

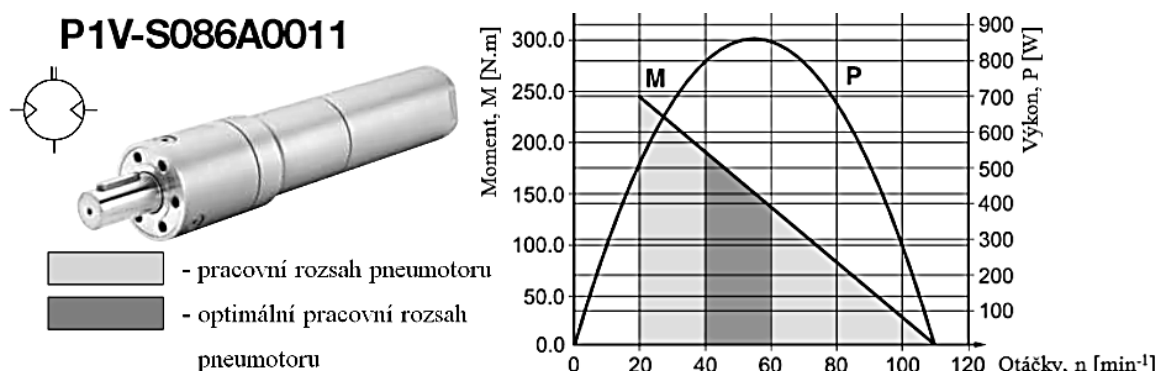
Tlak potřebný pro zvednutí zátěže

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{27\,461,5}{\frac{\pi \cdot 0,25^2}{4}} = 559\,431 \text{ Pa} \cong 0,6 \text{ MPa.} \quad (93)$$

Dle výpočtu by bylo možné pneumatore s průměrem pístu **250 mm** použít za předpokladu, že by byl zajištěn **minimální pracovní tlak 0,6 MPa**. Pak by bylo možné použít alternativní pneumatore P1D-T250MS-0550.

b) Rotační pneumatore

Dle tabulky 2.4.1 je maximální potřebný moment vyvozený pneumatorem 180 N.m. Při pracovním tlaku 0,6 MPa tohoto momentu dosáhne motor **P1V-S086A0011** při otáčkách 40 min^{-1} . Motor je ale momentem blízkým maximální hodnotě zatížen pouze v malém rozmezí úhlu zavírání střechy. Při snížení momentu se otáčky zvýší. Dále nutno podotknout, že maximální moment je uvažován při přetížení střechy sněhem. Lze tady konstatovat, že **při pracovním tlaku 0,6 MPa** by měl motor dosáhnout požadavku zavření do 1 minuty.



Obr. 2.6.1 Graf průběh momentu, výkonu pro různé otáčky a tlak 0,6 MPa [20]

3 Závěr práce

Cílem diplomové práce byl návrh tří variant pneumatického pohonu otevírání a zavírání střechy železničního vagonu TAMNS. Při návrhu bylo nutné dodržet požadavky zadané firmou Parker Hannifin Czech Republic s. r. o.

Na základě provedené rešerše jsem zvolil nepřímé pneumatické řízení pneumotoru a vybral jsem pro dvě ze tří řešených variant vhodný pneumotor. Pro variantu s lineárním a rotačním pneumotorem jsem zpracoval specifikaci jednotlivých pneumatických prvků. Dále jsem navrhl základní uspořádání hlavních komponentů na vagonu a také jejich propojení a zároveň jsem vytvořil pneumatická schémata. Variantu s kyvným pneumotorem nebylo možné dořešit, protože pneumotor nedosahuje potřebného momentu.

Pro řešenou problematiku bude vhodnější použít pohon s rotačním pneumotorem i přesto, že bude nutné olej dle potřeby doplňovat v maznici jednotky pro úpravu vzduchu. Varianta s rotačním pneumotorem využívá pouze jednoho pneumotoru, pohon nemá tak komplikovanou montáž jako varianta s lineárním pohonem, zabírá také méně místa a je lépe využít během zvedání střechy. Lineární pneumotor má vysoké vytížení pouze na začátku zvedání střechy, poté se snižuje na minimum.

Zvolený rotační pneumotor P1V-A160E0008V6 by bylo možné nahradit menším a lehčím pneumotorem P1V-S086A0011. Alternativní pohon ale nesplňuje podmínku práce při minimálním pracovním tlaku 0,4 MPa, který je zadán zadavatelem. Pro správnou funkci je nutné zabezpečit tlak 0,6 MPa. Jelikož tlak od lokomotiv dosahuje hodnoty 1~1,6 MPa, nemusel by být problém dosáhnout minimálního pracovního tlaku 0,6 MPa. Pneumotory jsou navrženy na největší zatížení, když je střecha přitížena sněhovou pokrývkou 3 cm mokrého sněhu. Při využití alternativního rotačního pneumotoru by bylo z důvodu odlišnosti jeho konstrukce nutné nepatrně modifikovat pneumatický obvod. Škrtecí ventily by musely být přesunuty do vedení mezi rozváděč a pneumotor.

Přílohou této práce je výkresová dokumentace s kompletní specifikací prvků dvou řešených variant.

4 Seznam použité literatury

Literární prameny:

- [1] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. - Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [2] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 2. – Řízení pneumatických systémů*. Ostrava: VŠB-TUO, 1997. 88 s. ISBN 80-7078-498-9.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training - Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 3. vydání. 344 s.
- [4] SCHMID, Dietmar. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa - Sobotáles, 2005. 420 s. ISBN 80-86706-10-9.
- [5] BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.

Internetové zdroje:

- [6] *Vagon Tamns-z*. Dostupné z: http://www.ddsv.hr/vagon_tamns-z_1.html. [Cit. 1.5.2017].
- [7] *BOX WAGON- Tamns B46.082D*. Dostupné z: <http://www.vtg.com/wagon-hire/our-fleet/b46082d/>. [Cit. 1.5.2017].
- [8] TALAFOUS, L.- *Elektrická trakce - Brzdy a cílové brzdění*. Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2015050202>. [Cit. 1.5.2017].
- [9] *Normy aneb kolik váží sníh?*. Dostupné z: <http://www.snihnastrese.cz/normove-zatizeni-snehovych-oblasti/>. [Cit. 1.5.2017].
- [10] *Portál pro strojní konstruktéry- výpočet pružin*. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/137-vypocet-pruzin>. [Cit. 1.5.2017].
- [11] *Jednotky pro úpravu vzduchu*. Dostupné z: http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2014/12/0750-UK_Parker_Global_Air_Preparation_System_V2.pdf. [Cit. 1.5.2017].
- [12] *Jednosměrný ventil, šroubení, kolena, T-kusy*. Dostupné z: <http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2014/05/CAT-4100-10-UK.pdf>. [Cit. 1.5.2017].

- [13] *Rozváděč Viking Extreme, škrticí ventil, rozváděč VA13, logický prvek OR*: Dostupné z: http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2014/09/PDE2600PNUK_Parker_Pneumatic_Catalogue_V11.zip. [Cit. 1.5.2017].
- [14] *Hadice, hadicové koncovky*: Dostupné z: http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2014/05/CAT4400_Hydraulic-Hoses_Fittings_Equipment_2016-06_web.pdf. [Cit. 1.5.2017].
- [15] *Popis hadice Push-Lok*: Dostupné z: http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2015/01/Brochure-Push-Lok-Harmonization-BUL_4480-B176_UK_web.pdf. [Cit. 1.5.2017].
- [16] *Rychlospojky*: Dostupné z: http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2017/02/MB_3800-Railway_UK_web.pdf. [Cit. 1.5.2017].
- [17] *Lineární pneumotor tip PID-T*: Dostupné z: http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2014/05/Pneumatic-Cylinder-PID-T-Catalogue-PDE2667TCUK_03_2015.pdf. [Cit. 1.5.2017].
- [18] *Kyvný pneumotor tip VRS / VRA*: Dostupné z: http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2014/01/VRS-VRA_Technical_Catalogue-PDE2655TCUK.pdf. [Cit. 1.5.2017].
- [19] *Rotační pneumotor tip PIV-A*: Dostupné z: <http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2014/05/Vane-Air-Motor-PIV-A-and-PIV-B-Series-Catalogue-PDE2670TCUK.pdf>. [Cit. 1.5.2017].
- [20] *Rotační pneumotor tip PIV-S*: Dostupné z: <http://www.parker.cz/wp-content/uploads/2014/05/Vane-Air-Motor-PIV-S-Stainless-Steel-Series-Catalogue-PDE2554TCUK.pdf>. [Cit. 1.5.2017].

5 Seznam příloh

- PŘÍLOHA-A - pneumatický obvod s lineárním pneumotorem - schéma
- PŘÍLOHA-A - SP- pneumatický obvod s lineárním pneumotorem - specifikace
- PŘÍLOHA-B - pneumatický obvod s rotačním pneumotorem - schéma
- PŘÍLOHA-B - SP- pneumatický obvod s rotačním pneumotorem - specifikace

Rád bych vyjádřil poděkování Ing. Lukáši Dvořákovi Ph.D. za vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Lochmannovi za pomoc při získání potřebných informací a podkladů. A nakonec děkuji mé rodině za podporu během mého studia.

.....*Lukáš Duda*.....
podpis